

169380

T.C

FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

169380
İNDÜKSİYON FIRINI TASARIM VE YAPIMI

Ömer ÇELİK

Tez Yöneticisi
Prof.Dr.Ata SELÇUK

YÜKSEK LİSANS TEZİ
ELEKTRİK EĞİTİMİ ANABİLİM DALI

ELAZİĞ, 2005

T.C
FIRAT ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

İNDÜKSİYON FIRINI TASARIM VE YAPIMI

Ömer ÇELİK

Yüksek Lisans Tezi
Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

Bu tez, **29.08.2005** tarihinde aşağıda belirtilen jüri tarafından oy birliği/oy çokluğu ile başarılı/
~~Başarısız~~ olarak değerlendirilmiştir.

Danışman: Prof. Dr. Ata SELÇUK

Üye: Yrd. Doç. Dr. Hüseyin ALTUN

Üye: Doç. Dr. Z. Hakan AKPOLAT

Bu tezin kabulü, Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu'nun/...../..... tarih ve
.....sayılı kararıyla onaylanmıştır.

TEŐEKKÜR

Çalıőmalarım süresince bana destek veren ve yardımlarını esirgemeyen çok değerli danışman hocam Prof.Dr.Ata SELÇUK'a, bizlere çok yardımcı olan deneyimli elektrik mühendisi Ali KAYA'ya ve Elektrik Eğitimi Bölümü sekreteri Cuma AKYÜZ'e en içten teőekkürlerimi sunarım.

Ayrıca bu projenin yürütölmesi için bizden mali desteğini esirgemeyen Fırat Üniversitesi'nin çok değerli birimi FÜBAP ve çalıőanlarına da teőekkürü bir borç bilirim.

İÇİNDEKİLER

ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....	III
TABLULARIN LİSTESİ.....	V
SİMGELER.....	VI
ÖZET.....	VIII
ABSTRACT.....	IX
1. GİRİŞ.....	1
1.1. Problemin Tanımı ve Önemi.....	2
1.2. Tarihi Gelişimi.....	2
2. İNDÜKSİYON ERGİTMENİN ÜSTÜNLÜKLERİ VE İNDÜKSİYON ERGİTME SİSTEMLERİ.....	4
2.1. İndüksiyon Ocaklarının Kupol Ocaklarına Üstünlükleri.....	4
2.2. İndüksiyon Ocaklarının Ark Ocaklarına Üstünlükleri.....	5
2.3. İndüksiyon ocaklarının sınıflandırılması.....	5
2.3.1. Nüvesiz İndüksiyon Ocakları.....	6
2.3.2. Kanallı (Nüveli) İndüksiyon Ocakları.....	7
3. NÜVESİZ İNDÜKSİYON OCAKLARININ TEMEL ESASLARI	8
3.1. Nüvesiz İndüksiyon Ocaklarında Enerji Transferi.....	9
3.2. Nüfuz Etme Derinliği.....	10
3.3. Karıştırma Hareketi	13
3.4. Frekans/Kapasite Ve Güç İlişkileri.....	15
3.5. Şebeke (50/60 Hz) Frekanslı İndüksiyon Ocakları.....	16
3.6. Düşük Frekanslı (150-180 Hz) İndüksiyon Ocakları.....	20
4. NÜVESİZ İNDÜKSİYON OCAKLARI, ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMİ.....	21
4.1 Nüvesiz İndüksiyon Ocakları.....	21
4.1.1 Gövde.....	21
4.1.2 Bobinler.....	21
4.1.2.1 Bobin Kesidi	24
4.1.2.2 Bobin İndüktansı.....	25
4.1.2.3 Bobin Çapı.....	25
4.1.2.4. Bobin Yalıtımı.....	25
4.1.2.5 Bobin Yüksekliği.....	25
4.1.2.6. Sarım Sayısı.....	26
4.1.2.7. Bobin Bağlantı Şekilleri.....	26

4.1.2.8 Bobin Bölümlerinin Sayısı	27
4.2. Manyetik Boyunduruklar (Şöntler).....	27
4.3. Hidrolik Sistem.....	27
4.4. Refrakter Astar Tasarımı Ve Astar Aşınmalarının Ölçülmesi.....	28
5. YARIİLETKEN GÜÇ KAYNAKLARI.....	30
5.1. Doğrultucu	31
5.2 LC Süzgeç Devresi, L İndüktansı.....	32
5.3. Evirici.....	33
5.4. Rezonans Komutasyonlu Eviricilerin Karşılaştırılması.....	38
6. GÜÇ TRANSİSTORLERİ.....	39
6.1. Güç Transistörlerinin,İndüksiyon Fırınlarında Kullanılma Nedeni.....	39
6.2. Güç Transistörlerinin Anahtar Olarak Kullanılması.....	39
6.2.1. Güç Transistörünün İletime Geçmesi.....	40
6.2.2. Güç Transistörünün Kesime Gitmesi.....	41
6.3. Güç Transistörlerinin İletime Geçmesinin İyileştirilmesi	42
6.4. Güç Transistörlerinin Kesime Gitmesinin İyileştirilmesi.....	43
7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR.....	44
7.1 Tasarım ve Trafo hesaplamaları.....	44
7.2 Fırın trafo gücünün hesaplanması (Bakır ergitme).....	44
7.2.1 Malzemenin ergitilmesi için gerekli ısı ihtiyacı.....	45
7.2.2 Isı kayıpları.....	45
7.2.3 Elektrik kayıpları.....	45
7.2.4. Elektrik Gücü.....	46
7.2.5 Ergitilecek miktar.....	46
7.2.6. Nüve Kesiti.....	46
7.2.7 Tel kesiti ve Trafo Primer Sipir Devre Sayısı	46
7.2.8. Bobin boyutları.....	47
7.2.9. Manyetik Devre ve Gövde Boyutları.....	58
7.2.10 Elektrik devre hesapları fiili durumu.....	49
7.2.11 Tasarlanan ve Üretilen İndüksiyon Ergitme Fırınının Denenmesi.....	50
8. SONUÇ VE ÖNERİLER.....	53
KAYNAKLAR.....	54
ÖZGEÇMİŞ.....	55

ŞEKİLLERİN LİSTESİ

- Şekil 2.1. İndüksiyon ocaklarının sınıflandırılması
- Şekil 2.2. Nüvesiz indüksiyon ocağının basitleştirilmiş kesiti
- Şekil 2.3. Tek ve çift kanallı indüksiyon ocaklarının çalışma prensibi
- Şekil 3.1. İndüksiyon ile ısıtmanın temel esası
- Şekil 3.2 Nüfuz etme derinliği
- Şekil 3.3 Nüfuz etme derinliği ve akım şiddetinin grafik gösterimi
- Şekil:3.4. Manyetik geçirgenliği (1) olan bir malzemede akım nüfuz etme derinliğinin frekansla değişimi
- Şekil 3.5. İndüksiyon ocaklarında meydana gelen elektromanyetik alan kuvvetler
- Şekil 3.6. İndüksiyon ocaklarında manyetik kuvvetler ve bileşmeleri
- Şekil 3.7. Frekans,güç ve ergitme kapasitesi arasındaki ilişkiler
- Şekil:3.8. Kurulu güce bağlı olarak tek ocaklı tesislerde şebeke frekansı ve orta frekans için karşılaştırmalı kapasitör maliyetleri
- Şekil 3.9. Değişik frekanslarda çalışan ocaklarda elde edilebilecek bağlı yük.
- Şekil 4.1 Q nun d'/L ile değişimi
- Şekil 4.2. A nun d_1/L_1 ile değişimi
- Şekil 4.3. F nin d'/L ile değişimi
- Şekil 4.4. Bobinlerin mümkün paralel bağlantı şekilleri
- Şekil 4.5 Bir indüksiyon ocağında L. (bobin uzunluğu % 10) ve d' yi (astar kalınlığı) gösteren kesit resmi. Efektif astar kesidi (Lxd)ye eşittir.
- Şekil 4.6. İki farklı astar kalınlığı ve tasarımı için kampanya süresince v^2/p oranının değişimi
- Şekil 4.7. Empedans ve astar kalınlığı değişimi
- Şekil 5.1 Doğru gerilim ara devreli seri rezonanslı dönüştürücü
- Şekil 5.2 Doğru akım ara devreli paralel rezonanslı dönüştürücü
- Şekil 5.3 $\alpha = 60^\circ$ için çıkış gerilimi dalga şekli
- Şekil 5.4 LC Filtre devresi
- Şekil 5.6 Eviricilerin çalışma ilkesi
- Şekil 5.7 Gerilim beslemeli tristörlü evirici
- Şekil 5.8 Seri RLC devresine E doğru gerilimi uygulanınca I ve U_c nin değişimi.
- Şekil 5.9 Seri rezonanslı eviricide akımın dalga şekli
- Şekil 5.10 Akım beslemeli tristörlü evirici
- Şekil 5.11 Akım beslemeli eviricide gerilim ve akımın değişimi
- Şekil 6.1. Güç transistörü anahtarlama süreleri

Şekil 6.2. Güç transistörünün ilettime geçmesi

Şekil 6.3 Güç transistörünün kesime gitmesi

Şekil 6.4 Güç transistörünün ilettime geçmesinin iyileştirilmesi

Şekil 6.5 Güç transistörünün ilettime geçme anında iyileştirilmiş baz akımının değişimi

Şekil 6.6 Güç transistörünün kesime gitmesinin iyileştirilmesi

Şekil 7.1 Primer devre bobini

Şekil 7.2. Magnetik devre

Şekil 7.3. Transformatör boyutları

Şekil 7.4. Üretilen transformatör

Şekil 7.5. Üretilen pota

Şekil 7.6. Üretilen transformatörün sekonderine takılan bir bakır halkanın idüksiyon akımı ile ısıtılması

Şekil 7.7. Üretilen transformatörün potaya montaj yapılmış görünümü



TABLULARIN LİSTESİ

Tablo 3.1. Değişik frekanslarda çalışan nüvesiz indüksiyon ocaklarında 1450° C da dökme demir eritimi için gerekli güç tüketimi karşılaştırması



SİMGELELER

- a : Yarıçap (m)
A : Yüzey alanı (m²)
B : Magnetik Akı Yoğunluğu (Gauss)
C : Kapasite (Farad)
D : Çap (m)
e : İndüklenen Gerilim (Volt)
E : Doğru Gerilim (Volt)
f : Frekans (Hz)
f₀ : Rezonans Frekansı (Hz)
F : Kuvvet (N)
H : Magnetik Alan Şiddeti (A/m)
I : Akım (A)
I_B : Baz Akımı (A)
I_c : Kollektör Akımı (A)
I_K : Kısa devre Akımı (A)
J : Akım Yoğunluğu (A/m²)
K_f : Sargı Faktörü
l : Uzunluk (m)
L : İndüktans (H)
L_k : Kaçak İndüktans (H)
L_m : Miknatıslama indüktansı (H)
N : Sarım Sayısı
P : Güç (Watt)
R : Direnç (Ω)
R_c : Bakır Direnci (Ω)
R_d : Fuko ve Histeresiz Eşdeğer Direnci (Ω)
t : Zaman (s)
t_d : Gecikme Zamanı (s)
t_{off} : Kesime Gitme Zamanı
t_{on} : İletime Geçme Zamanı (s)
t_r : Yükselme Zamanı (s)

t_r : Toparlanma Zamanı (s)
 t_s : Yük Toplama Zamanı (s)
 T : Peryod (s)
 $U_ç$: Çıkış Gerilimi (Volt)
 U_d : Doğru Gerilim (Volt)
 U_g : Giriş Gerilimi (Volt)
 U_{g1} : Akım Genlik Bilgisi
 U_{f1} : Akım Frekans Bilgisi (Hz)
 U_{ort} : Ortalama Gerilim (Volt)
 U_1 : Birinci Sargı Gerilimi (Volt)
 U_2 : İkinci Sargı Gerilimi (Volt)
 V : Hacim (m^3)
 q : Elektrik Yüğü (C)
 d_0 : Nüfuz Etme Derinliğı
 ρ : Özdirenç (Ωm)
 α : Tetikleme Açısı (raydan)
 γ : Özgöl Ağırlık (kg/m^3)
 μ_r : Bağlı Magnetik Geçirgenlik
 μ_o : Havanın Magnetik Geçirgenliğı (H/m)
 ω : Açısal Hız (r/s)
 W : Enerji (Joule)
 η : Verim

ÖZET

Yüksek Lisans Tezi

İNDÜKSİYON FIRINI TASARIM VE YAPIMI

Ömer ÇELİK

Fırat Üniversitesi

Fen Bilimleri Enstitüsü

Elektrik Eğitimi Anabilim Dalı

2005, Sayfa : 55

Metal ve alaşımları ergitmek için farklı yöntemler kullanılmaktadır. Bunlardan endüksiyon ergitme, bu yöntemlerden birisidir

Bu çalışmada, farklı tipteki malzemelerin araştırılması için indüksiyon prensibine dayalı, transformatör tipinde bir fırın tasarlanmış ve imal edilmiştir. Transformatörün primer tarafına 220 V, 50 Hz alternatif akım uygulanmıştır. Fırın ve elemanları transformatörün sekonder tarafına yerleştirilmiştir. Böylece metal pota içerisine konan malzeme üzerinden indüksiyon akımı geçirilerek malzemenin ergitilmesi sağlanmıştır.

Anahtar Kelimeler: İndüksiyon, İndüksiyon fırını, Ergitme, Metal ergitme

ABSTRACT

Master Thesis

DESIGN AND PRODUCTION OF INDUCTION FURNACE

Ömer ÇELİK

Firat University

Graduate School of Natural and Applied Sciences

Department of Electric Education

2005, Page : 55

To melt metals and alloys different methods have been used. Induction melting process is one of them.

In this work a transformer base induction furnace device is designed and produced to investigate of different types of materials. On the primer of transformer 220 V, 50 Hz alternating current was applied. The furnace and its components are placed on secondary port of the transformer. So that the material placed in the cup can be melted by means of induction effect.

Key words : Induction, Induction furnace, Melting, Metal melting

1. GİRİŞ

Endüstride çeşitli ısıtma fırınları kullanılmaktadır. Bunlardan yakıtlı tip fırınlarda kullanılan katı, sıvı veya gaz gibi yakıtların yanması sonucu oluşan kül, fosfor, kükürt gibi atık maddeler, ergimiş metale karışarak istenmeyen bir katkı maddesi olabilirler. Bu nedenle ısıtma işleminde elektrikle çalışan fırınların kullanılması ile bu gibi istenmeyen durumlar kısmen de olsa ortadan kalkacaktır.

Elektrikli tip fırınları dört grupta toplamak mümkündür;

1. Direnç fırınları
2. Ark fırınları
3. Kapasite fırınları
4. indüksiyon fırınlarıdır

Bunlardan indüksiyon fırınları kendileri arasında nüveli ve nüvesiz olarak iki gruba; Kullanılan frekansa göre ise dört gruba ayrılırlar.

1. Düşük frekanslı (şebeke frekanslı)
2. Orta frekanslı (motor-alternatör ve statik eviriciler)
3. Yüksek frekanslı (statik eviriciler)
4. Radyo frekanslı (statik eviriciler ve vakum tüpler) fırınlarıdır.

İndüksiyonla ısıtmanın ilk yıllarında, uygun motor-alternatör grubu ve yeterli büyüklükte kondansatörlerin olmaması nedeni ile gelişmeler fazla ilerleyemedi. 1927'de ilk orta frekans fırını Electric Furnace Company tarafından Sheffield'de imalinden sonra fırınların sayısı, çeşitleri ve büyüklükleri sürekli bir şekilde artmıştır.

İlk yıllar, orta frekans indüksiyon fırınlarında motor-alternatör grupları kullanılmaktaydı. Ancak bunlar birer dönen makine olduklarından, sabit frekans, kısmen düşük verim, yüksek çalışma maliyeti, fazla ağırlık ve yüksek gürültü gibi mahsurları bulunmaktaydı. Günümüzde ise orta ve yüksek frekansta kullanılan indüksiyon fırınlarında motor alternatör grupları yerine, statik eviriciler kullanılmaktadır. Yarıiletken teknolojisinin hızla ilerlemesi sonucu, büyük akım ve gerilim değerlerinde çalışan statik eviriciler yapılabilmektedir. Böylece manyetik olmayan metallerin ısıtılmasında kullanılan orta ve yüksek frekanslar statik eviriciler tarafından üretilmektedir.

Çoğu uygulamalarda paralel rezonans yük devrelerinin kullanıldığını görmekteyiz. Ancak seri rezonans yük devreleri de kullanılabilir. Paralel rezonans devrelerinin, seri rezonans devrelerine göre bazı üstünlükleri vardır. Bunlar;

1. Seri rezonans devrelerinde, sistem rezonansa büyük akım değerlerinde gelirken, devrede kullanılan kondansatör ve diğer devre elemanlarının akım kapasitelerinin de büyük olmasına neden olur.
2. Paralel rezonans devresinde ise sistem rezonansa en küçük akım değerinde gelirken devrede kullanılan elemanların boyutları ve akım değerleri küçük olmaktadır.

Statik evirici; devre yük rezonanslı veya tarama frekanslı olarak yapılabilmektedir. Tarama frekanslı sistem empedansı çok değişen yüklere uyulanabilme yeteneğine sahiptir. Anahtarlama elemanlarının frekansı ise bir osilatör ile kontrol edilebilir. Orta frekanslı bir devre magnetik ve magnetik olmayan metallerin ergitilmesinde kullanılabilir.

1.1. Problemin Tanımı ve Önemi

Ergitme işlemlerinde karşılaşılan önemli metalurjik problemlerden birisi metal birleşimindeki değişme (Kuhlmann, 1951), diğeri ise ergitme fırınıdır. Endüstride ergitme ortamı olarak çeşitli fırınlar kullanılmaktadır. İndüksiyon yöntemiyle yapılan ergitme işleminde, rezonans frekansının elde edilmesinde birtakım zorluklar vardır. Rezonans frekansının elde edilmesinde karşılaşılan zorluklar şu şekilde açıklanabilir. İndüksiyonla ergitmede ergitici frekanslar çok önem arz etmektedir. Özellikle rezonans frekansı ergitilen malzemelerin cinsine ve öz direncine bağlı olarak farklılık göstermektedir. Magnetik olan veya olmayan metallerde eddy akımlarının metale nüfuz etme derinliği değişmektedir. Bu farklılıklara bağlı olarak indüksiyon fırınının rezonans frekansı, çeşitli anahtarlama sistemleri kullanılarak sabit kondansatör komplekslerinin devreye sokulup çıkartılması ile elde edilebilir. Bu usûl ile çalıştırılan sistemlerde ara değerlerde kondansatör gurubu bulmak zor olduğundan devre frekansı ve ergitilecek madenin miktarı belirli kapasitelerde yapılmaktadır (Çavuşoğlu, 1981).

1.2. Tarihi Gelişimi

İndüksiyon ısıtmanın temeli olan “ indüksiyon” Micheal Faraday tarafından 1831’de keşfedilmiştir. Primer devreden geçen akımın sekonder devrede başka bir akımı meydana getirdiğini göstererek, Micheal Faraday modern indüksiyonla ısıtmanın ilk bulucusu olmuştur (Davies ve diğ., 1979). Önemli olan primere uygulanan alternatif akımın kapalı sekonder devresinde değişken bir magnetik alan meydana getirmesiydi. Yaklaşık yüz yıldır bu prensip motorlarda, jenaratörlerde, transformatörlerde ve radyo haberleşmesinde kullanılmıştır. Akım

sonucu magnetik devredeki ısınma etkisi ise istenmeyen bir yan etki olarak görülmüştür. Mühendisler bu etkiye eddy akımları (sac-akımları) adını vermişler. Eddy akımlarını en aza indirmek için motor ve transformatörlerde nüveyi ince sac levhalardan yaparak düşük magnetik indüktans ve yüksek elektirik direnci oluşturmuşlardır. Lenz ve Neumann kanunlarında indüklenen akımın indükleyen magnetik akiya karşı koyduğu ve frekans ile doğru orantılı olarak değiştiği açıklanmıştır (Harry ve diğ., 1991).

1868'de Foucauld Eddy akımları teorisinde ise enerjinin bir bobinden bir katı demir nüveye geçişi hakkında bilgi verilmiştir. Thomson ise indüksiyon ısıtma teorisine katkıda bulunmuştur. Bu yüzyılın başlarında Fransa, İsviçre ve İtalya nüvesiz indüksiyon fırınları kullanarak orta frekansta ergitme hakkında öneriler yapmışlardır (Boylestad ve diğ., 1987).

Dr. Northrup, endüstride kullanılmak üzere bir orta frekans fırın geliştirmiştir. İndüksiyon ısıtmanın ilk zamanlarında, uygun motor-alternatör ve yeterli büyüklükte kondansatörlerin olmaması nedeni ile fazla gelişme sağlanamamıştır. Fakat 1927'de ilk orta frekans fırın Electric Furnace Company tarafından Sheffield'de kurulmuştur. Bundan sonra kurulan fırınların sayısı ve büyüklüğü sürekli bir şekilde artmıştır (Harry ve diğ., 1991).

İkinci dünya savaşı süresince gerçekleştirilen gelişmeler ise indüksiyon ısıtmanın derinlik ve yüzey alanlarında çok hassas ısıtma avantajları sağladığını göstermiştir. İndüksiyon fırınlarında harici bir ısıtma kaynağına olan ihtiyaç ortadan kaldırılarak düşük ısı kayıpları ve temiz çalışma şartları da sağlamış oldu. İndüksiyon ısıtma yöntemi kullanılarak ısıtılacak metalin indüksiyon bobini ile fiziksel teması gerekli değildir ve yüksek güç yoğunluğu, kısa ısınma zamanı ile birlikte mümkündür. Bu şartların bir arada bulunması otomasyon için ideal bir durum olmuş ve kullanımını arttırarak, üretime çeşitli katkılarda bulunmuştur (Edwin, 1971).

Bazı kaynaklarda indüksiyon fırınlarının ilk defa 1810 yılında İngiltere de Sir Humphary Davy tarafından yapıldığı, daha sonra İngiltere'de 1887 tarihinde Ferranti tarafından başlatılan özel genaratör kullanımı ile 1950 'li yıllara kadar sürdüğü yer almaktadır (Edwin, 1971).

2. İNDÜKSİYON ERGİTMENİN ÜSTÜNLÜKLERİ VE İNDÜKSİYON ERGİTME SİSTEMLERİ.

2.1. İndüksiyon Ocaklarının Kupol Ocaklarına Üstünlükleri

Yatırım maliyetlerinin yüksek olmasına rağmen indüksiyon ocakları özellikle demir ve çelik dökümhanelerinde büyük bir hızla yaygınlaşmakta ve demir dökümhanelerinde kupol ocaklarının yerini almaktadır. İndüksiyon ocaklarının kupol ocaklarına kıyasla sağladığı en önemli üstünlükler şunlardır:

1. Sürekli (günün 24 saati) sıvı metal verebilmeleri,
2. Dökümhanelerin değişen metal taleplerine kolaylıkla uydurulabilmeleri,
3. Sıcaklık ve bileşim kontrolünün çok iyi olması
4. Banyo hareketi nedeniyle homojen bir metal alınması ve alaşım kayıplarının azlığı,
5. Ergitme kapasitesinin kimyasal bileşim veya sıcaklığı değiştirmeden taleplere göre ayarlanabilmesi,
6. Ocakların metal kaybı olmaksızın hemen boşaltılabilmesi,
7. Pahalı ergitme sistemlerine ihtiyaç duyulmaması,
8. Kupol ocaklarındaki soğuk ve kontrolsüz ilk dökümün bulunmaması,
9. Gerektiğinde potaların ısıtılmasında kullanılabilmesi,
10. Soğuk ve hurda metalin tekrar ocağa yüklenebilmesi,
11. Kupolün gerektirdiği gece vardiyalarını gerektirmemesi,
12. Hava kirlenmesi probleminin bulunmaması,
13. Ergitme malzemesi özelliklerinin sınırlı olmaması,
14. Kireçtaşı ve kok stoklarına ihtiyaç göstermemesi,
15. Koktan gelen kükürt probleminin bulunmaması,
16. Aynı bileşim için indüksiyon ocağından alınan metalin daha yüksek fiziksel özellikler taşıması,
17. Özellikle son yıllarda ortaya çıkan ham madde ve yakıt dar boğazına karşılık, indüksiyon ocaklarının atom enerjisinden faydalanabilecek ocaklar olması,
18. Ergitme bölümünde çalışan işçilerde uzun bir tecrübeye ihtiyaç duyulmaması,
19. Daha fazla hurda çelik şarjı ve ucuz şarj malzemesi kullanılabilmesi.

2.2. İndüksiyon Ocaklarının Ark Ocaklarına Üstünlükleri

Ark ocakları özellikle dökme demir ergitiminde eski önemini kaybetmiş bulunmaktadır. Çelik ergitiminde ise indüksiyon ocaklarının kullanılmasını sınırlayan tek faktör bu ocakların kükürt ve fosforun giderilmesinde ark ocakları kadar etkili olamamasıdır.

Ark ocaklarının, indüksiyon ocaklarına kıyasla aşağıdaki dezavantajları taşıdığı görülür:

- 1- Ark ocaklarının ergitme başlangıcında güç kaynağı üzerinde yarattığı gerilim sapmalarının giderilmesi büyük problemler yaratabilir ve ek yatırımı gerektirir,
- 2- Ergitme sırasında arkın yarattığı ses, ocaktan çıkan toz ve dumanlar çalışma ortamını bozar ve ek yatırımı gerektirir,
- 3- Bileşim ve sıcaklık kontrolü daha zordur,
- 4- Alaşım kayıpları yüksek ve ürün kalitesi daha düşüktür,
- 5- Aynı kapasite için indüksiyon ocaklarından biraz daha fazla yatırıma ihtiyaç gösterirler,
- 6- Özellikle dökme demir ergitiminde metale karbon vermek güçtür.

2.3. İndüksiyon ocaklarının sınıflandırılması

İndüksiyon ocakları çalışma prensiplerindeki farklılıklar nedeniyle iki gruba ayrılmaktadır:

- a) Nüvesiz ocaklar
- b) kanallı (nüveli) ocaklar.

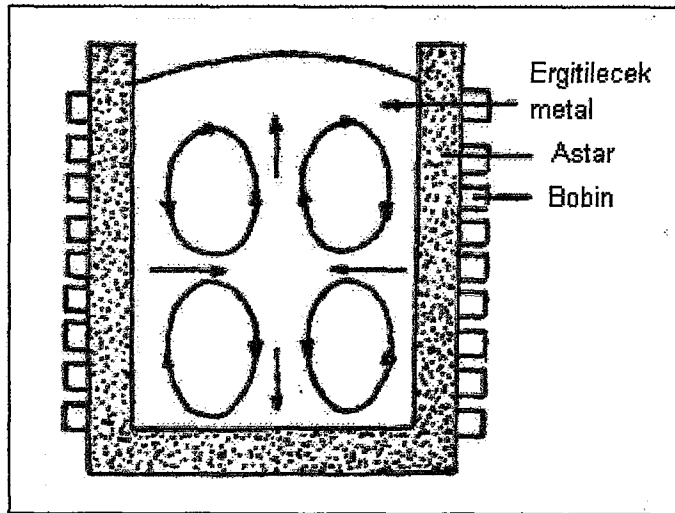
Nüvesiz ve kanallı ocaklar da Şekil 2.1'de gösterildiği gibi kendi aralarında gruplara ayrılmaktadır



Şekil 2.1 İndüksiyon ocaklarının sınıflandırılması

2.3.1. Nüvesiz İndüksiyon Ocakları

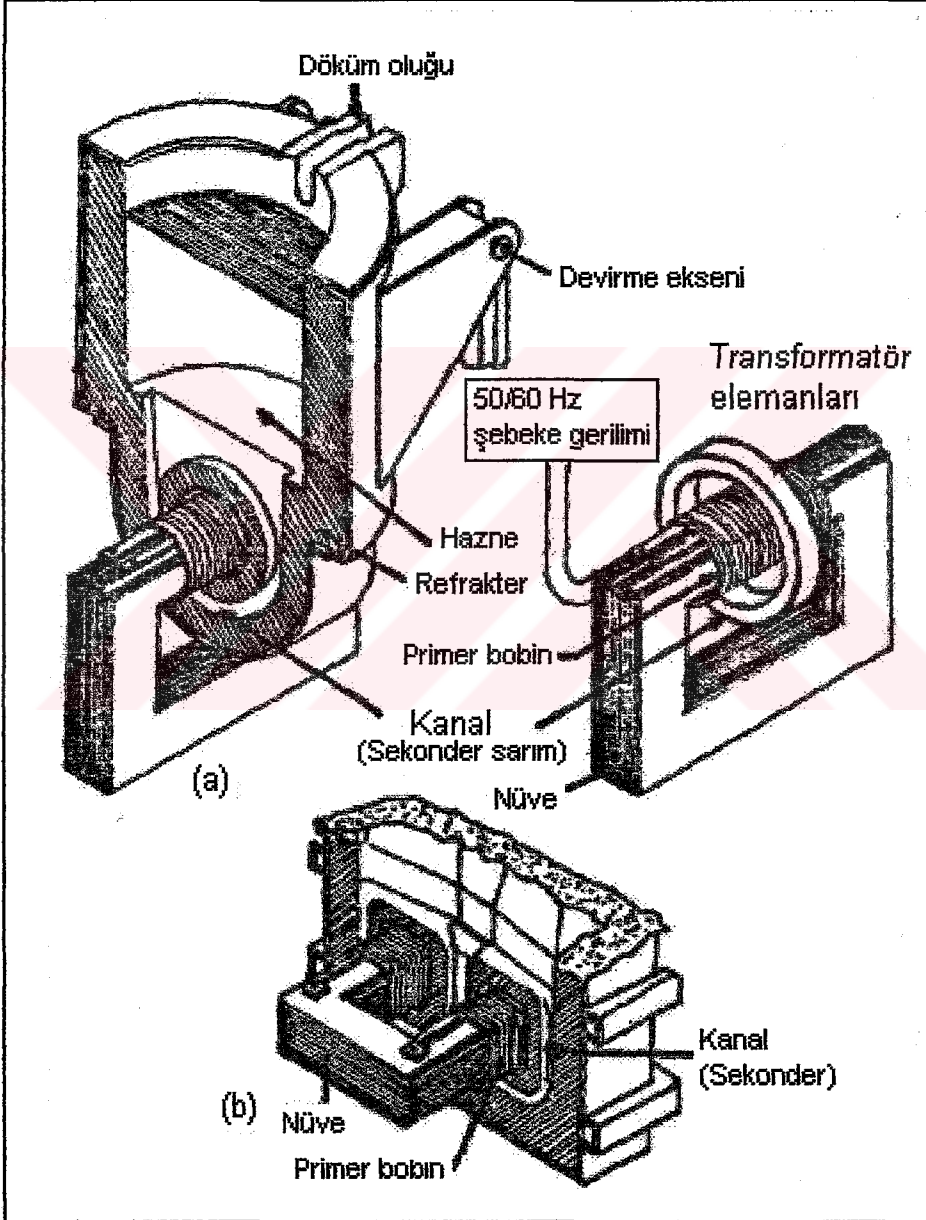
Bu ocakları kanallı (nüveli) ocaklardan ayıran en önemli özellik ocak bobininin primer sarımı meydana getirmesi ve nüve yerine bobin içindeki metal şarjının bulunmasıdır (Coşkun, 1987). Metalin ertilebilmesi için gerekli ısı, bobin tarafından metal üzerinde yaratılan akımlar ile elde edilir (Şekil 2.2).



Şekil 2.2 Nüvesiz indüksiyon ocağının basitleştirilmiş kesiti

2.3.2. Kanallı (Nüveli) İndüksiyon Ocakları

Bu ocaklarda bobin, levhalı bir nüve üzerine sarılmıştır. Bu bobine (primer) enerji uygulandığı zaman, dışında bir halka oluşturan metal, sekonder olarak görev yapar. Bu ocaklara nüveli denmesinin nedeni, primer sarım içinde demirden bir nüvenin bulunmasıdır.

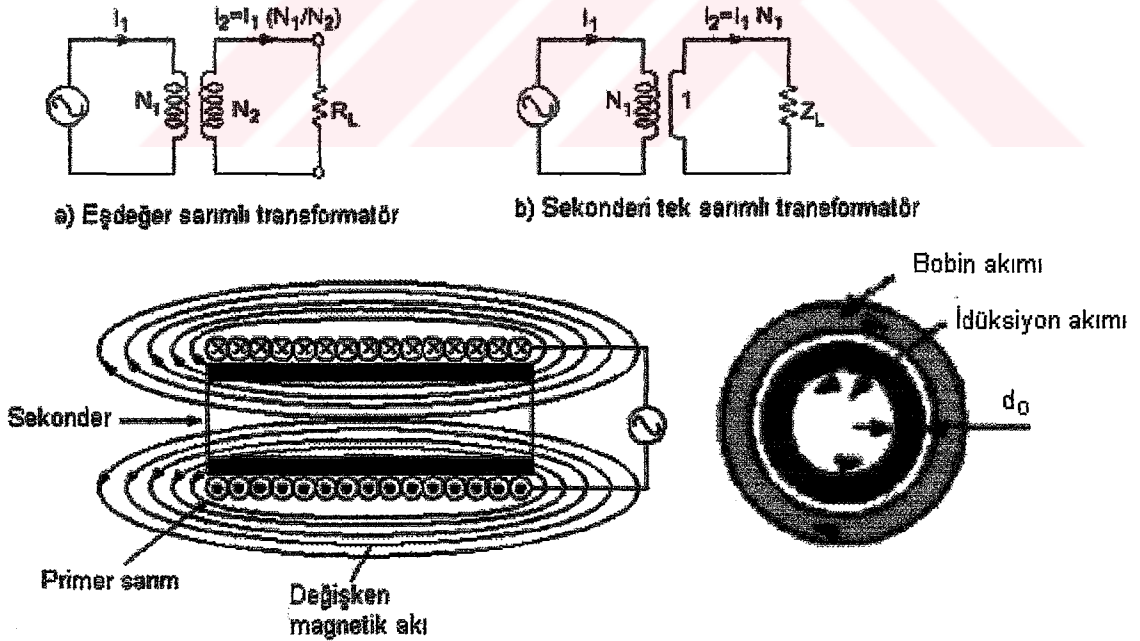


Şekil 2.3 Tek ve çift kanallı indüksiyon ocaklarının çalışma prensibi

3. NÜVESİZ İNDÜKSİYON OCAKLARININ TEMEL ESASLARI

İndüksiyonla Isıtma; indüksiyon, nüfuz etkisi ve enerji transferi ilkelerinin bir kombinasyonudur, yani indüksiyonla ısıtma bu üç temel faktörden meydana gelir. İndüksiyonla ısıtmanın ana teorisi bir transformatör devresi ile benzerlik arzeder (Kuru, D, 1989). Şekil 3.1'de indüksiyon ve nüfuz etkisine açıklık getirmesi için endüktif ısıtma bobini ve akımdan ibaret olan temel sistem görülmektedir. Şekil 3.1.a da en basit şekliyle verilen transformatördeki sekonder akımının, sarım sayısına göre değişen primer akımı ile doğru orantılı olduğu görülmektedir. Bobinin sekonder tarafı Şekil 3.1.b deki gibi sadece bir turluk sarım sayısı ile kısa devre yapılırsa, sekonder devrede oluşan yüksek akım nedeniyle önemli miktarda ısı açığa çıkar. Şekil 3.1.c deki sistemde kaynaktan sağlanan enerji primer ve sekonder tarafların ısı kayıpları toplamına eşit olur. Bu şekillerde sekonder tarafı kısa devre iken endüktif primer bobin çok sarımlıdır. İndüktif ısıtma bobini sargısı birbirlerinden küçük bir aralıkla yalıtılmışlardır.

İndüksiyonla ısıtmanın en önemli amacı sekonder tarafta üretilen ısı enerjisini maksimum seviyeye çıkarmaktır. İndüktif ısıtma bobininin sargıları arasındaki açıklık mümkün olduğunca küçük tutulur ve sekonder kısım ise düşük rezistans ve yüksek iletkenliği sağlayacak özellikte yapılır. (Seguier, 1986).



Şekil 3.1 İndüksiyon ile ısıtmanın temel esasları

3.1. Nüvesiz İndüksiyon Ocaklarında Enerji Transferi

Çeşitli metallerin ısınma ve ergitilmeleri için gerekli teorik enerji miktarları birbirlerinden farklıdır. Nüvesiz ocaklarda enerji transferi doğrudan doğruya ergitilecek malzeme içinden geçen bir magnetik alanla sağlanır. Transfer edilen enerji miktarı, magnetik akım yoğunluğuna, malzemenin elektriksel öz direncine ve çalışma frekansına bağlıdır. Ergitilecek malzemenin magnetik özellikler taşıması gerekli değildir. Enerji taşıyıcısı magnetik alan olduğundan, hiç bir elektriksel temasa gerek yoktur (Mohan ve diğ, 1989).

Alternatif bir akım kaynağına bağlanan indüksiyon bobininin etrafında, Amper Kanunu'na göre değişken bir elektromagnetik alan oluşur. Amper Kanunu magnetik alanın kapalı bir yol boyunca çizgi integrali, o yolun sınırladığı yüzeyi delip geçen akıma eşittir şeklinde tanımlanır.

Bu elektromagnetik alan,

$$\oint H \cdot dl = \int I \cdot dA = N \cdot i = F \quad (3.1)$$

$$\emptyset = \mu H A \quad (3.2)$$

formülleri ile ifade edilebilir. Burada;

H : Magnetik alan şiddeti

dl : Diferansiyel yol

N : Sarım sayısı

i : Akım şiddeti

\emptyset : magnetik akı

μ : Magnetik geçirgenlik

I : Akım yoğunluğu

F : Magnetomotor kuvveti

dA : Diferansiyel yüzeyi temsil eder.

Magnetik alana bir cisim yerleştirildiğinde magnetik alanın değişim hızında değişme meydana gelir. Magnetik alanın akı yoğunluğu cismin yüzeyinden merkezine yaklaştıkça azalır. Faraday Kanunu'na göre iletken cisim üzerinde meydana gelen akım denklem (3.2) de gösterildiği gibi indüksiyon devresindeki akımla ters orantılıdır. Cismin yüzeyinden geçen akım eddy akımını meydana getirir.

$$E = \frac{d\lambda}{dt} = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (3.3)$$

Burada; E İndüklenen gerilimi, λ halkalama akısını ve dt diferansiyel zamanı göstermektedir.

Denklem 3.3'deki (-) işareti meydana gelen akımın yönünün kendisini meydana getiren sebebe zıt yönlü olduğunu ifade eder. Yani bir kapalı devrede akım bir yönde artarken bu kapalı devrede ters yönde ana akımı azaltacak şekilde bir eddy akımı oluşacaktır.

Sonuç olarak akım ve eddy akımından meydana gelen elektrik enerjisi denklem (3.4)'de gösterilen ısı enerjisine dönüşür. Fuko akımları alternatif bir magnetik alan içine konan iletken malzemeler üzerinde oluşmaktadır. Eritilecek malzeme tarafından absorbe edilen güç, Joule Kanunu'na göre bu akımın karesi ile direncin çarpımına veya elektrik potansiyelinin karesinin dirence bölümüne eşittir:

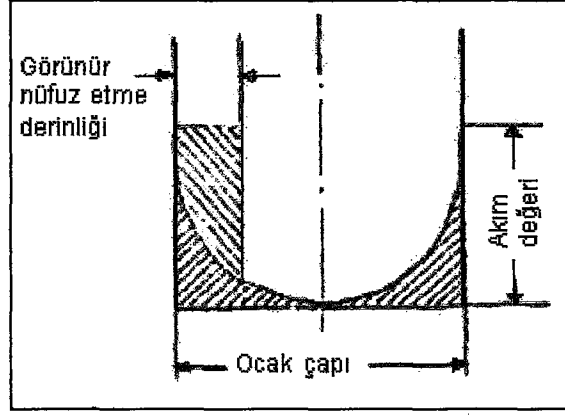
$$P = \frac{V^2}{R} = I^2 \cdot R \quad (3.4)$$

Burada P Güç, I, Akım, R, Direnç ve V gerilimi ifade etmektedir. Buradaki iletken cisimler için öz direnç (ρ) ve İletkenlik (μ) ile gösterilir. Akım magnetik alan yoğunluğuyla ifade edilir. Isı enerjisi bölüm 3.2 de tanımlanan nüfuz etkisiyle ters orantılıdır.

Eğer cisim demir gibi iletken bir madde olursa magnetik histerezisten dolayı elde edilen enerji daha yüksek miktarda olur. Meydana gelen ısı enerjisinin miktarı histerezisin genişliğine göre değişir. Burada fazladan oluşan enerji indüksiyon akımıyla oluşan enerjiden çok daha küçük(% 10'undan daha az) olmasından dolayı ihmal edilecektir.

3.2. Nüfuz Etme Derinliği

Bir indüksiyon bobini kesiti üzerinde magnetik alan yoğunluğu aynı ve sabit değildir. Magnetik çizgiler sarımlara yaklaştıkça yoğunlaşır, merkezde ise seyrekleşir. Sonuçta metal malzemenin dış kısmında Nüfuz Etme Derinliği olarak adlandırılan bir enerji yoğunlaşması olur (Şekil 3.2).



Şekil 3.2 Nüfuz Etme Derinliği

Bu etkiden şu sonuç kolaylıkla çıkarılabilir ki elektrik enerjisinden meydana gelen ısı enerjisi cismin nüfuz etme derinliğinin toplamından ibarettir.

$$i_x = i_0 e^{-x/d_0} \quad (3.5)$$

Burada

i_x : cismin yüzeyden x mesafesi kadar uzaklıktaki akım yoğunluğu,

i_0 : $x=0$ için nüfuz etme derinliği üzerindeki akım yoğunluğu,

d_0 : Nüfuz Etme Derinliği

Nüfuz Etme Derinliği aşağıdaki formülle ifade edilir;

$$d_0 = c \sqrt{\frac{\rho}{\mu \cdot f}} \quad (3.6)$$

d_0 : Malzemenin Nüfuz etme derinliği

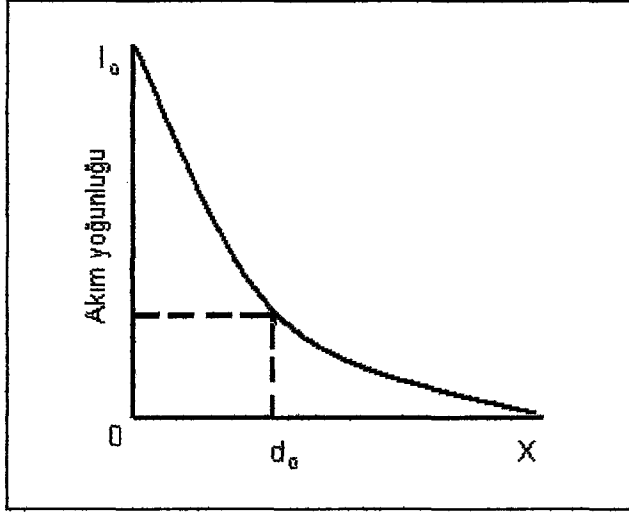
c : Sabit katsayı

ρ : Malzemenin direnci, ohm.cm

μ : Ergitilecek malzemenin magnetik geçirgenliği

f : Kaynak frekansı,Hz

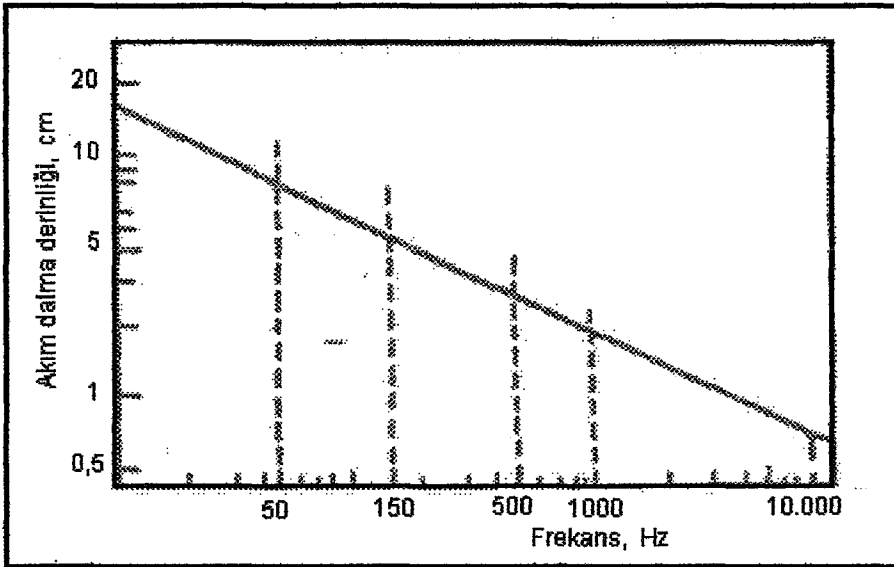
Şekil 3.2 de akım şiddetinin Nüfuz etme derinliğine göre grafiksel dağılımı görülmektedir.



Şekil 3.3 Nüfuz etme derinliği ve akım şiddetinin grafik gösterimi

Bu formülden de anlaşılacağı gibi, frekans büyüdükçe nüfuz etme derinliği azalmaktadır. Magnetik geçirgenliği 1 olan ve Curie noktası üzerinde ısıtılan çelik için frekansla nüfuz etme derinliğinin değişimi Şekil 3.4'de gösterilmiştir.

Şekil 3.4'den görüldüğü gibi, 50 Hz şebeke frekansı için nüfuz etme derinliği 75 mm civarındadır. Ancak ocağın ısıtma verimi yaklaşık 375 mm lik bir çapa erişinceye kadar yüksek olduğundan bu frekansta en küçük ocak kapasitesi 750 kg dır. 150 Hz için en küçük kapasite ise 250 kg civarındadır. Frekans 10.000 Hz'e çıktığında elde edilebilecek en küçük ocak kapasitesi 9 kg'a kadar düşmektedir.

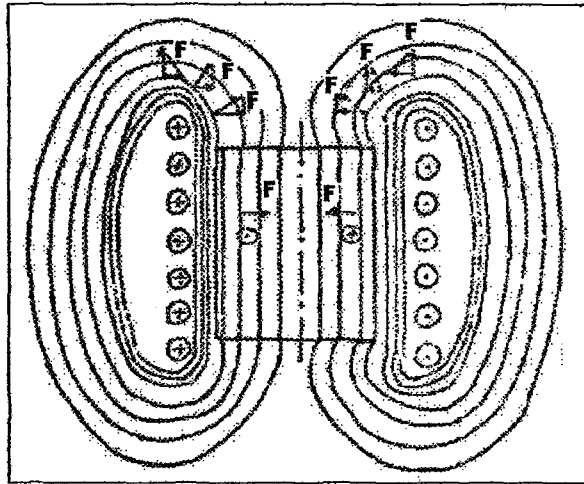


Şekil 3.4 Magnetik geçirgenliği (1) olan bir malzemede akım nüfuz etme derinliğinin frekansla değişimi

Şu halde nüfuz etme derinliğinin, birinci sonucu her frekans için ekonomik olabilecek en küçük ocak kapasitesini belirlemesidir (Üçtuğ, 1982). Nüfuz etme derinliğinin ikinci sonucu ise ergitecek malzemenin büyüklüğü konusunda getirdiği sınırlamalardır. Nüfuz etme derinliği az olan orta ve yüksek frekanslı ocaklar soğuk malzeme ve talaş dahil, her türlü ergitme malzemesi ile çalıştırılabilir. 150 Hz.lik ocakların verimli çalıştırılabilmesi için en uygun ergitme malzemeleri çapı 10 cm.den büyük olan hurdalardır. 50 Hz.lik ocaklar ise en az 25 cm boyutlu hurdalarla çalıştırılabilir. Verim açısından bu ocakların ocak çapına yakın ölçülerdeki bir başlangıç bloğu ile çalıştırılmaları uygundur. İlk çalışma başlangıcındaki bu özellikleri nedeniyle 50/60 Hz lik şebeke frekanslı ocaklar normal olarak "döküm alma ve ergitme" sistemi ile çalıştırılırlar, yani ergiyen metalin bir kısmı (genellikle ocak pota kapasitesinin 1/3 u) döküme verilir ve ocağa alınan metal ağırlığında ergitme yapılır. Ergitmeden sonra ocağın tam güçte çalıştırılabilmesi için ocağın sürekli 2/3 dolu bırakılması (gece vardiyalarında bile) şarttır.

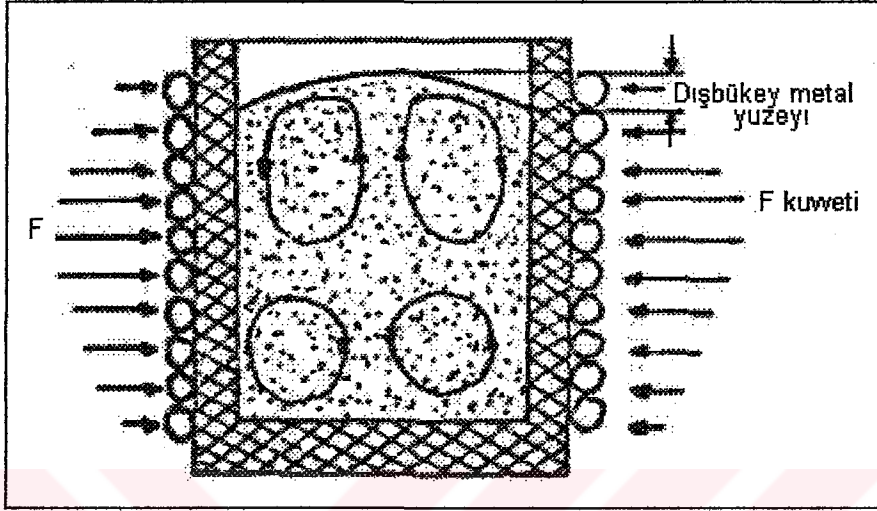
3.3. Karıştırma Hareketi

Magnetik alan çizgileri, bobininin merkez eksenine paralel olarak geçer (Şekil:3.5). Her iki uçta magnetik çizgiler dışa doğru açılır. Mekanik kuvvetler daima magnetik çizgilerin doğrultusuna dik olduğundan bobin merkezinde bu kuvvetler(F kuvvetleri) yatay doğrultudadır. Yani şarj fiberinde etkili olan kuvvetler ve bu kuvvetlerin bileşkesi merkeze doğru yönelmiştir. Bu özellik indüksiyon bobini boyunca Şekil: 3.6'da gösterildiği gibi, eşit olmayan bir magnetik kuvvet dağılımına yol açar. Sonuç, bobin sabit olduğundan metalin hareket etmesidir. Bu karıştırma hareketi belirli bir metal ve ocak tasarımı için indüklenen güç ile doğru orantılıdır.



Şekil 3.5 İndüksiyon ocaklarında meydana gelen elektromagnetik alan kuvvetler

Nüvesiz indüksiyon ocaklarında metalin bu hareketi banyo yüzeyinin düzgün kalmamasına ve merkezde hafifçe kabarmasına yol açar (Şekil 3.6). Bu kabarma bobin yüksekliğinin yüzdesi cinsinden tanımlanır (Bayındır, Çelik, 1992).



Şekil 3.6 İndüksiyon ocaklarında magnetik kuvvetler ve bileşkeleri

Karıştırma hareketi formülü:

$$M = \frac{P_i \cdot K}{\sqrt{f \cdot \rho \cdot \pi \cdot D \cdot L^2 \cdot \gamma}} \quad 3.7$$

M : Bobin yüksekliğinin (L) yüzdesi cinsinden kabarma,

K : Sabit

P_i : İndüklenen güç

D : Pota çapı

L : Bobin uzunluğu

γ : Şarjın özgül ağırlığı

Bu formüle göre belirli bir metal ve ocak için K, ρ , D, L sabit olduğundan karıştırma, indüklenen güçle doğru, frekansın karekökü ile ters orantılı olarak değişecektir. Örneğin aynı büyüklük ve güç kapasitesindeki iki ocak için 50 Hz.lik ocaktaki karıştırma hareketi 150 Hz.'lik ocaktakinin:

$$\sqrt{150/50} = 1,7$$

katı daha büyük olacaktır.

Sadece nüvesiz indüksiyon ocaklarında görülen ve kanallı ocaklarda söz konusu olmayan bu özellik biri olumlu, diğeri olumsuz olmak üzere iki sonuca götürür.

Karıştırma hareketinin olumlu yanı ocak içinde doğal bir karıştırma yaratmasıdır ki bu, alaşım oksitlenme kayıplarının çok az olması homojen bir sıcaklık ve bileşim dağılımı, seri ergitme gibi özelliklerin kaynağını oluşturur.

Olumsuz yönü ise, özellikle şebeke frekanslı ocaklarda (esasen bu ocaklar en yüksek karıştırma özelliğine sahiptir) ocağa uygulanacak gücün sınırlanmış olmasıdır. Bu yüzden 50/60 Hz şebeke frekanslı ocaklarda ton başına 250-300 kW dan fazla güç uygulamak tasarım açısından mümkün olmamaktadır.

Karıştırmanın yol açtığı diğer sonuçlar aşağıdaki gibi özetlenebilir:

1. Yetersiz Karıştırma :

- a) Metal homojenliğini azaltır,
- b) Banyodaki sıcaklık farklılıklarını artırır,
- c) Karbürlemeyi (karbon vermeyi) güçleştirir,
- d) Talaş veya hafif hurdaların ergitilmesini güçleştirir.

2. Aşırı Karıştırma:

- a) Şiddetli astar aşınmalarına yolaçar,
- b) Alaşım oksitlenme kayıplarını artırır,
- c) Metal içinde cüruf ve refrakter kalıntılarına neden olur,
- d) Metalin gaz alma şansını artırır.

Yukarıdaki nedenlerden, karıştırma hareketi indüksiyon ocaklarının seçiminde frekansla birlikte önemli bir rol oynamaktadır (Keklik, 1986).

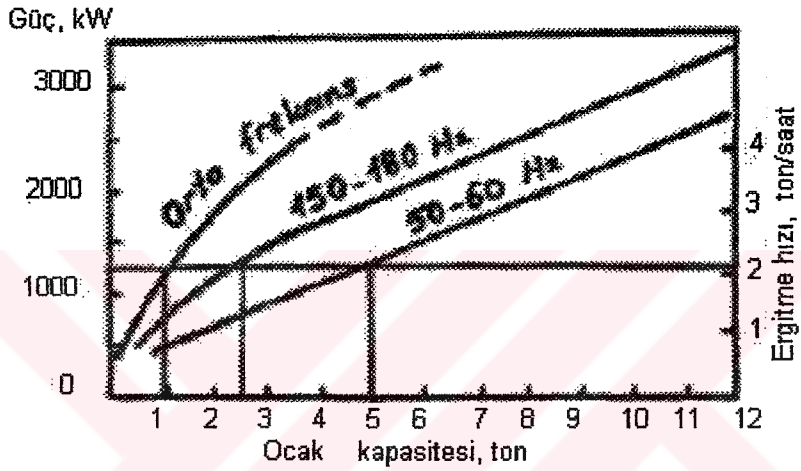
3.4. Frekans/Kapasite Ve Güç İlişkileri

Karıştırma hareketinin ocak kapasitesinin belirlenmesindeki rolü. iç ve frekansın karıştırma hareketi üzerindeki etkisi daha önce açıklanmış ve sonuç olarak her frekans değeri için ocağa verilebilecek gücün sınırlı olduğu belirtilmişti.

Belirli bir ergitme ocağı için kullanılan güç seviyesi düştükçe ısı kayıplarının faydalı ısıya oranı artar. yani ocağın verimi düşer. Bu ve bir önceki özellik belirli bir güç ve kapasite

için ocaklarda genel olarak kabul edilen maksimum ve minimum kapasite kavramlarının ortaya çıkmasına yol açmıştır. Şekil 3.7'de 50 ve 150 Hz.'lik ocaklarla kanallı indüksiyon ocakları için kapasite ve güç ilişkilerini veren eğriler görülmektedir. Bu grafiklere göre 50 Hz de 1000 kW değerinde bir güçle çalıştırılabilir ocak/ pota kapasitesi 4.5-11 ton arasında ve ergitme hızı da 1,8 ton/saat olacaktır (Metals Handbook, 1974).

Değişik frekanslar için ocakların sahip olabileceği güç, kapasite ve ergitme hızı değerleri hakkında genel bir bilgi vermek üzere şekil 3.8'de benzer grafikler verilmiştir.



Şekil 3.7 Frekans, güç ve ergitme kapasitesi arasındaki ilişkiler

3.5. Şebeke (50/60 Hz) Frekanslı İndüksiyon Ocakları

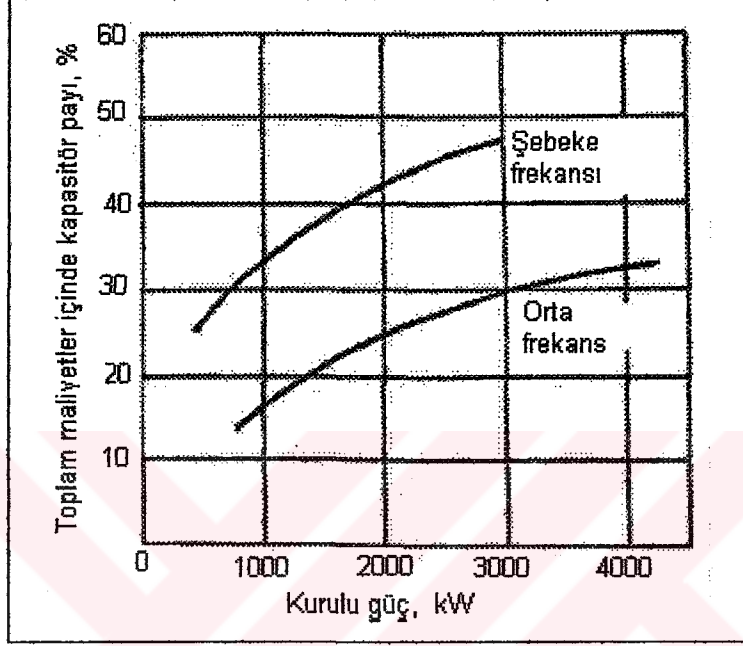
Bu ocakların çalışma frekansları Avrupa'da 50 Hz, ABD'de 60 Hz.dir. Frekans değiştiricilere ihtiyaç göstermediklerinden bu ocaklar en ucuz nüvesiz ocak türüdür, sadece basit bir transformatör bağlantısına ihtiyaç gösterirler. Şebekeden çekilen güç küçük ocaklarda tek veya üç fazlı olabilir. Ancak büyük ocaklarda dengeleme bakımından üç fazlı sistemler tercih edilmektedir. Üç fazlı sistemlerde iki faz üzerine indüktif bir reaktör, diğer iki faza ise kapasitif bir reaktör, kalan iki faza da ocak bağlanır.

Şebeke frekanslı ocaklar 1950 den itibaren Avrupa'da kullanılmış ve ucuzluğu nedeniyle geniş bir uygulama alanı bulmuştur.

Bu ocakların kapasiteleri halen 0.75 ton ile 90 ton arasında değişmekte olup daha büyük ocakların (110 ton gibi) tasarımı yapılmaktadır.

Güç kaynağının nisbeten basit olması nedeniyle aynı kapasitedeki (150-180 Hz) düşük

veya orta frekanslı ocaklardan daha düşük bir yatırım maliyeti ile kurulabilir. Düşük olan güç faktörünün düzeltilmesi için gerekli kapasitor maliyetlerinin yüksek olması bir dezavantaj olmakla beraber toplan kuruluş maliyetleri yine de düşük kalmaktadır(Şekil 3.8).



Şekil 3.8 Kurulu güce bağlı olarak tek ocaklı tesislerde şebeke frekansı ve orta frekans için karşılaştırmalı kapasitor maliyetleri

Şebeke frekanslı ocakların bir üstünlüğü de ergitilen ton metal başına güç tüketiminin (dolayısı ile işletme maliyetlerinin) diğer ocaklardan daha düşük olmasıdır (Tablo 3.1).

Tablo 3.1 Değişik frekanslarda çalışan nüvesiz indüksiyon ocaklarında 1450° C'de dökme demir ergitimi için gerekli güç tüketimi karşılaştırması

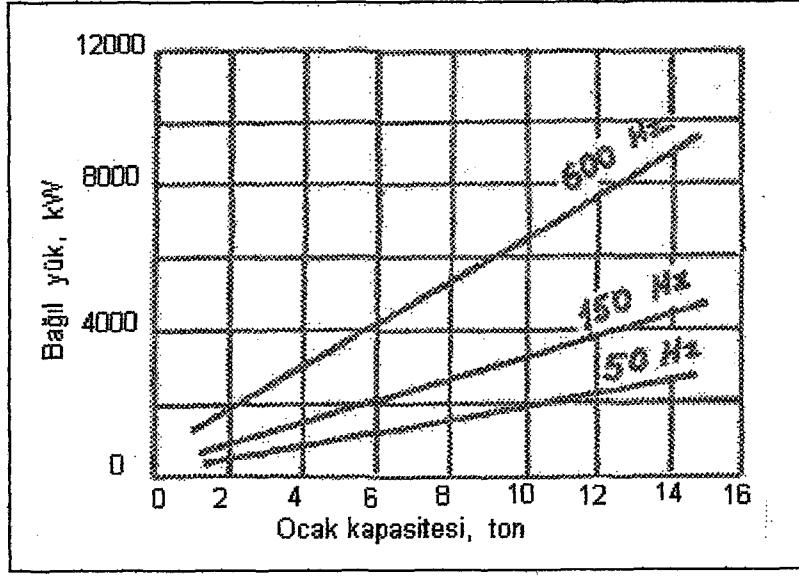
Ergitme Kapasitesi (ton/saat)	G ü ç T ü k e t i m i (kWh/ton)		
	1000 Hz	150 Hz	50 Hz
0.25	820	750	-
0,50	750	710	650
1.0	700	670	610
1.5	670	640	580
2.0	640	610	560
2.5	630	600	550

Şebeke Frekanslı Ocakların Yarattığı Sorunlar:

1. 50/60 Hz'in yarattığı büyük nüfuz etme derinliği nedeniyle şebeke frekanslı ocaklar ergitme başlangıcında bir başlangıç blokuna ihtiyaç göstermektedir. Bu blokun ergitilmesi süresince mevcut toplam gücün ancak küçük bir kısmının şarja iletilebilmesi nedeniyle verim düşüktür. Bu yüzden şebeke frekanslı ocakların ekonomik olabilmesi için günün 24 saati dolu tutulabilmesi ve sadece banyo kapasitesinin % 20'si kadar "döküm alma ve şarj" prensibine göre çalıştırılması gerekir.uygulamada genellikle ocaklar bir hafta sürekli çalıştırılır. Ancak hafta sonlarında astar muayene ve bakımı için durdurulur.
2. Bu ocakların şiddetli karıştırma özelliği ocağa uygulanacak gücün ton kapasite başına 250-300 kW ile sınırlandırılmasına yol açmıştır. Diğer bir deyişle gücün her kW'ı için 3.5 kg kapasite gereklidir. Örneğin2000 kW lık bir güç ünitesinin en az 7 tonluk bir ocağa bağlanması gerekmektedir (Şekil 3.9). Güç yoğunluğundaki bu sınırlamanın yol açtığı sonuç genellikle gerekenden daha büyük bir ocak kullanılmasıdır. Bu ise bir kısım metalin (ocakta bırakılan) sadece döküm sıcaklığında tutulabilmesi için gereksiz güç tüketilmesi anlamına gelir.
3. Ocağın büyümesiyle refrakter maliyetleri ve astar yapım süresi de buna paralel olarak artar. Ekonomide bunun da olumsuz etkisi vardır.

Çalışma şekli nedeniyle bu ocaklar en verimli şekilde 2 veya 3 vardiya döküm yapan dökümhanelerde kullanılabilir. Tek vardiya çalışan dökümhaneler için tavsiye edilmez.

Şebeke frekanslı ocakların astarlanması ve işletmeye alınması kanallı ocaklardan çok daha kısa sürelidir. Kanallı ocaklar daha pahalı olmakla beraber gerektiğinde boşaltılabildiğinden alaşım değiştirme daha kolaydır. Talaş ve hafif hurda ergitilebilir. Buna karşılık verimin daha düşük olması nedeniyle güç tüketimi ve maliyetleri kanallı ocaklardakinden daha yüksektir.



Şekil 3.9 Değişik frekanslarda çalışan ocaklarda elde edilebilecek bağlı yük.

Yukarıda özetlenen özellikleri nedeniyle şebeke frekanslı ocaklar belirli şartlarda başka bir ocakta ergitilen metalin ısıtılmasında dubleks ünitesi olarak yaygın bir uygulama alanı bulmuştur. Özellikle temper demir dökümhanelerinde bileşim ve sıcaklık rolünün kolay olması nedeniyle yaygın olarak kullanılmaktadır. Karıştırma işleminin şiddetli olması karbürlemede metale karbon verilmesinde) büyük kolaylık sağlamaktadır.

Paket indüksiyon ocaklarının, kuruluş süre ve masraflarını azaltmasıyla tasarımı yapılan, kapasiteleri 4-75 ton, gücü 1000-30000 kW arasında değişen 50-60 Hz frekanslı ocaklardır. Bu ocakların sağladığı üstünlükler şunlardır:

1. % 60 a kadar yedek parça tasarrufu,
2. Dökümhane alanından % 60 tasarruf,
3. Kuruluş süresinde % 80 azalma,
4. Toplam yatırımdan % 20 tasarruf

Ocaklar diğer ocaklardan daha pahalı olmakla beraber, sayılan üstünlükleri daha ekonomik olmalarına sağlamaktadır.

3.6. Düşük Frekanslı (150-180 Hz) İndüksiyon Ocakları

Başlıca özellikleri üç fazdan da eşit akım çekildiğinden pahalı yük dengeleme düzenlerine ihtiyaç göstermemeleridir. Ayrıca, frekans yüksekliği sayesinde şebeke frekanslı ocaklardan daha yüksek bir güç bağlanması mümkündür (Şekil 3.9).

Genellikle kullanılan ocak kapasiteleri 0.25 ton-6.0 ton arası da değişmektedir. Aynı kapasite için bu ocakların yatırım maliyetleri ve ton metal için güç tüketimi şebeke frekanslı ocaklardan biraz daha yüksektir. Ancak frekansın daha yüksek olması seçme hurdalardan hasırlanan soğuk şarjların etkin bir biçimde ergitilmesini sağladığından ilk çalışmada bir "blok" kullanılması şart değildir.

Ton metal başına 450 kW güç uygulanması mümkün olduğundan şebeke frekanslı ocaklara kıyasla daha yüksek ergitme hızları elde edilebilmektedir.



4. NÜVESİZ İNDÜKSİYON OCAKLARI ÖZELLİKLERİ VE SEÇİMİ

4.1 Nüvesiz İndüksiyon Ocakları

Nüvesiz indüksiyon ocakları aşağıdaki esas bölümlerden oluşan bir ergitme ünitesidir:

1. Güç sistemi,
2. Soğutma sistemi,
3. Ocak potası
 - a)Gövde
 - b)Bobinler
 - c)Magnetik boyunduruk (şönt)lar
 - d)Refrakter astar
 - e)Hidrolik sistemi
4. Şarj hazırlama ve ısıtma sistemi

4.1.1 Gövde

İlk indüksiyon ocaklarında bobini taşıyan ocak gövdesi magnetik olmayan metal profillerle bağlanan yalıtkan malzemelerden yapılırdı. Muhtemel bütün iletim yollarını önlemek için metalik kısımlar dikkatle izole edilirdi. Metalik malzeme olarak örneğin alüminyum kullanılırdı. Ancak bu konstrüksiyon kapasitesi 2 tonu geçmeyen ocaklarda kullanılabilmiştir.

Daha sonraları geliştirilen çelik gövde konstrüksiyonu ile bobin dışındaki magnetik alan magnetik boyunduruklar içine alınmıştır. Magnetik boyunduruklar kendileri ısınmadan akıyı bobinin karşıt ucuna iletmekte olduğundan, dış gövde rijit yapı çeliğinden yapılabilmektedir. Modern ocak konstrüksiyonunda sıcak hadde yapı çelikleri kullanılmaktadır.

Nüvesiz indüksiyon ocaklarında çalışma sırasında elektromagnetik titreşimler olduğundan ocak parçalarının sağlam bir şekilde tesbit edilmesi büyük önem taşır. Tasarım açısından açık kafes tipi gövdeler tercih edilir, zira bu tür ocaklarda bobinin kontrolü ve bakımı daha kolay olmaktadır.

4.2.1.2 Bobinler

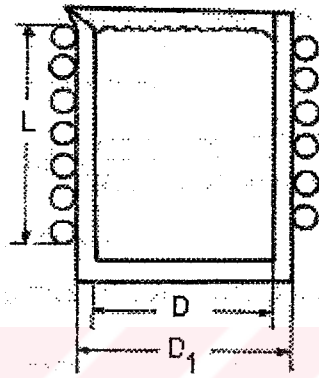
Bir indüksiyon ocağı tesisinin toplam verimi ısısal verim, bobin verimi ve güç kaynağı veriminin çarpımına eşittir. Bu yüzden bobin, tasarımı ve özellikleri ocak tasarım aşamasında

büyük bir önem taşır. Tasarım aşamasında gözönünde bulundurulması gereken esas özellik, bobinin uygulanan frekans ile gerilime uygunluğu ve şarj ile arasındaki magnetik kuplaj (ikileme) dir. Bobinlerin yapımında kullanılan malzeme iletkenliği yüksek olan elektrolitik bakırdır. Bu borular gerektiğinde gümüş lehimini ile birleştirilmektedir.

Bobin tasarımı genelde grafik yöntemlerle yapılmaktadır. Bu yöntemi anlatmak amacı ile buna bir örnek verelim.

Örnek: Aşağıda verilen boyutlarda demir ergitmek amacı ile bir bobin tasarlanacaktır.

$$\begin{aligned}
 D &= 70 \text{ cm} \\
 D_1 &= 98 \text{ cm} \\
 L &= 80 \text{ cm} \\
 \rho &= 0.6 \Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m} \\
 f &= 50 \text{ Hz} \\
 P &= 300 \text{ kW} \\
 U &= 380 \text{ V} \\
 k_f &= 0.8 \text{ (Güç faktörü)} \\
 L &= L_1
 \end{aligned}$$



Burada L bobin sarımları arasındaki açıklık mesafesi hesaba katılarak elde edilen uzunluktur. Nüfuz etme derinliği (d_0) değeri çalışma frekansına, malzemenin öz direncine, magnetik geçirgenliğine bağlı olarak;

$$d_0 = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu}} = \sqrt{\frac{2\rho}{\omega\mu_0\mu_r}} = 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}}$$

şeklinde ifade edilir. Burada μ_r , bağıl magnetik geçirgenlik = 1 dir.

Formülde değerler yerine konursa nüfuz etme derinliği;

$$d_0 = 50.3 \sqrt{\frac{\rho}{\mu_r \cdot f}} = 50.3 \sqrt{\frac{0.6}{50}} = 5.5 \text{ cm}$$

$$d' = D - d_0 = 70 - 5.5 = 64.5 \text{ cm}$$

$$d'/L = 64.5/80 = 0.80$$

$$D_1/L = 98/80 = 1.22$$

Şimdi Şekil 4.1, 4.2 ve 4.3 deki eğrilerden reaktif güç;

$$Q = f(d'/L) = 3.83$$

$$A = f(D_1/L) = 1.27$$

$$F_1 = f(D_1/L) = 15.5$$

$$F' = f(d'/L) = 11.6$$

Değerleri bulunur.

$$C_1 = \frac{1}{2} d_1 F_1 = \frac{1}{2} 98 \cdot 15,5 = 760$$

$$C_1 = \frac{1}{2} d' F = \frac{1}{2} 64,5 \cdot 11,6 = 375$$

$$C_1' = C_1 - \frac{QA}{10 \frac{d'}{L}} \cdot C = 760 - \frac{3,83 \cdot 1,27}{10 \cdot 0,805} \cdot 375 = 536$$

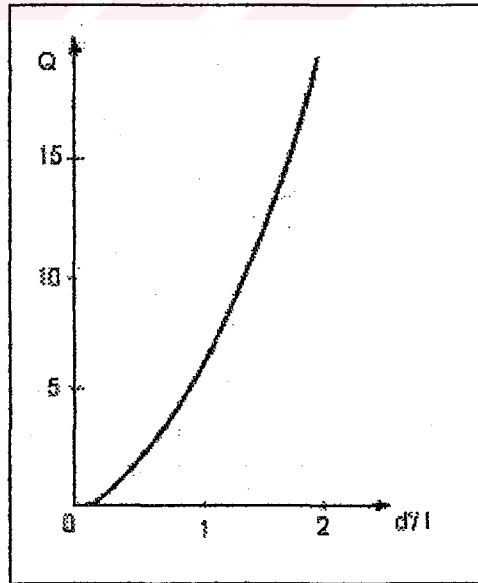
$$V = \frac{8,1(d_1 / L_1)}{6,1 k_f Q A \sqrt{\mu \cdot \rho}} = \frac{8,1 \cdot 1,22}{6,1 \cdot 0,8 \cdot 3,83 \cdot 1,27 \sqrt{0,6}} = 0,539$$

$$\eta = \frac{1}{1+V} = \frac{1}{1+0,539} = 0,65 = \%65$$

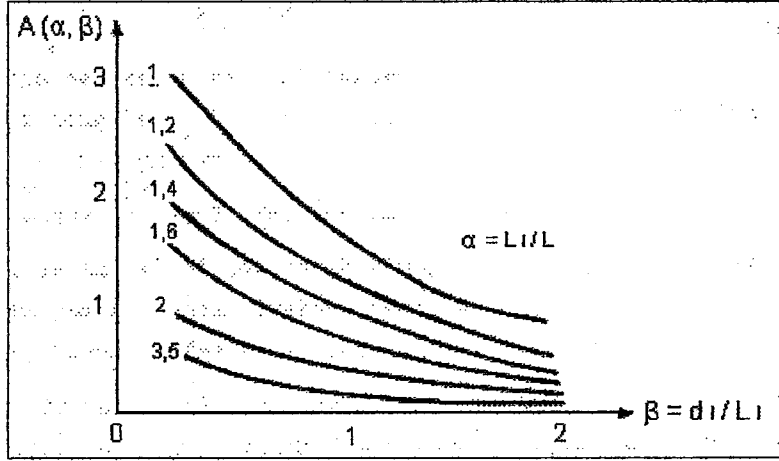
$$IN = \sqrt{\frac{P}{6,1 \cdot Q \cdot A \sqrt{\mu \cdot f}}} \cdot 10^4 = \sqrt{\frac{300}{6,1 \cdot 3,83 \cdot 1,27 \sqrt{0,6 \cdot 50}}} \cdot 10^4 = 13600 \text{ Ampersarım (Asa).}$$

$$U_{sa} = 2 \cdot \pi \cdot f \cdot C_1' \cdot IN \cdot 10^{-8} = 2 \cdot \pi \cdot 50 \cdot 536 \cdot 13600 \cdot 10^{-8} = 23 \text{ V/sa}$$

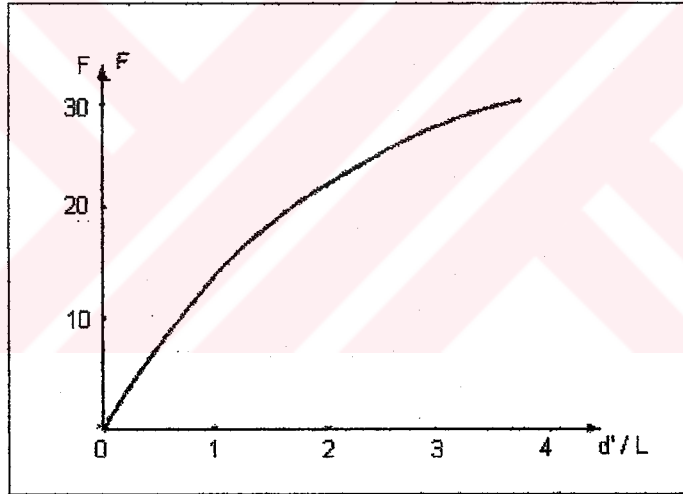
$$N = 380/23 = 16,5 \text{ veya } 16 \text{ sarım}$$



Şekil 4.1 Q nun d'/L ile değişimi



Şekil 4.2 A'nın d_1/L_1 ile değişimi (Burada $\alpha = L_1/L$, $\beta = d_1/L_1$ dir)



Şekil 4.3 F'nin d'/L ile değişimi

4.1.2.1 Bobin Kesidi

Geçmişte yuvarlak ve oval kesitler de kullanılmakla beraber günümüzde kare ve dikdörtgen kesitler tercih edilmektedir. Yüksek frekanslı ocaklarda akım bobinin ocak tarafının iç yüzeylerinde yoğunlaştığından borunun bu iç yüzey alanı bobin direncinin belirlenmesinde borunun cidar kalınlığı kadar önemli faktördür. Bobin sarımları ile toprak arasındaki kısa devre eğilimi bobin gerilimi düştükçe azalır. Ayrıca düşük gerilimde bobin kesiti de büyüdüğünden soğutma suyunun geçtiği kesit alanı büyümektedir.

Şebeke frekanslı ocaklarda bobin cidar kalınlığının 10 mm den az olmaması istenir. Büyük boru kesidinin bir diğer özelliği de dairesel ve küçük kesitli bobinlere göre sarımlar arası kısa devre eğiliminin az oluşudur.

4.1.2.2 Bobin İndüktansı

Belirli bir ocak için sabit olmayan bu değer elektriksel verim açısından önemlidir. Soğuk metalin ergimeye başladığı anda belirli bir değere sahip olan indüktans şarjın ergimesiyle azalır. İndüktanstaki bu değişme klasik ocaklarda devreye sokulan kapasitörler, modern ocaklarda ise (VIP) frekansı değiştirmek suretiyle dengelenmektedir.

4.1.2.3 Bobin Çapı

Belirli bir frekanstaki nüfuz etme derinliğinin ocak çapına göre büyük olması halinde bobinin karşı tarafından gelen indüklenmiş akımla zıt yönlü olması sonucu iki akım birbirine zıt yönde olduğundan ısıtma verimi düşer. Bu yüzden ocak (veya bobin) çapı nüfuz etme derinliğinin en az 4 katı kadar olup, her frekans için uygulanabilecek minimum bir bobin çapı bulunmaktadır.

4.1.2.4. Bobin Yalıtımı

Sinterleme sırasında ortaya çıkabilecek rutubetin dışarı atılabilmesi açısından günümüzde sarımlar arasında belirli bir aralığın bulunduğu açık tip bobinler tercih edilmektedir. Bu sarımdan sarıma, yada sarımda toprağa muhtemel kısa devrenin önlenmesi açısından da faydalıdır. Açık tip bobinlerin diğer üstünlükleri bakım kolaylığı, bobin yalıtımı ve hasar görmüş bobinin sökülmeden gümüş lehim ile kolayca tamiridir. Ayrıca bobinler özel donanım ihtiyacı göstermeksizin kolayca sökülüp takılabilmektedir.

4.1.2.5 Bobin Yüksekliği

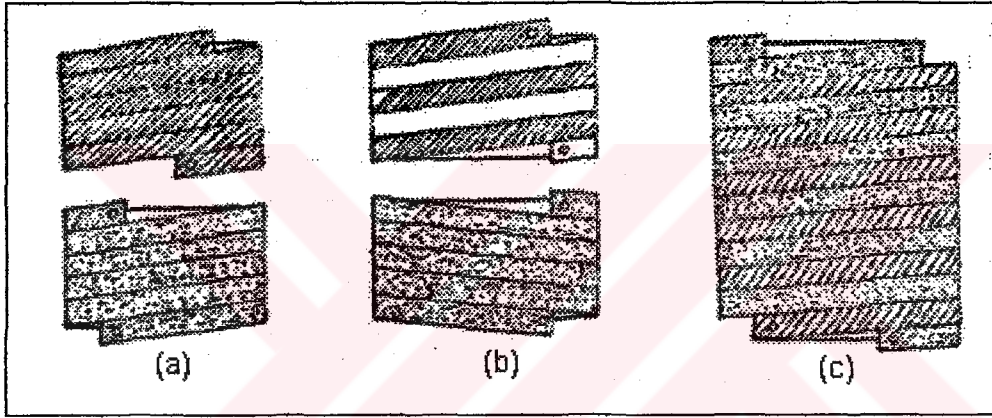
Gücün en etkin bir biçimde kullanılabilmesi için bobin yüksekliği normal olarak çapın 0.8-1.2 katı alınır. Daha yüksek bobinlerde yüksek gerilimde çekilen akım düşeceği, kısa bobinlerde ise fazla akım ancak düşük gerilimde çekilebileceği için ocağa verilebilecek güç azalır. Ancak cevher kaynaması yapılan çelik ergitme ocaklarında bobin biraz daha yüksek tutulabilir. Yüksekliği çapa göre az olan bobinlerde ergitilecek metale iletilebilecek paralel magnetik çizgi sayısı azdır. Bunun sonucu reaktif güç büyür ve elektriksel verim düşer.

4.1.2.6. Sarım Sayısı

Sarım sayısını belirleyen en önemli etken Standard çalışma gerilimleri ve ocağın güç sınırlandırmasıdır.

4.1.2.7. Bobin Bağlantı Şekilleri

Tasarımcı için uygun bobin çapı/bobin uzunluğunu verebilecek paralel bağlantı şekilleri üç tipte olabilir (Şekil 4.4).



Şekil 4.4 Bobinlerin mümkün paralel bağlantı şekilleri

Şekil:4.4(a)'da her ikisi de aynı yönde sarılmış, paralel iki bobin bölümü görülmektedir. Bu yöntemin sakıncası bir bobinin sonu ile diğerinin başlangıcı arasında tam potansiyel farkının bulunmasıdır. Burada tam (maksimum) çalışma gerilimine çıkabilmek için yalıtımın artırılması gerekir. Bu ise pota refrakteri üzerinde dengesiz soğumaya ve problemlere yol açar.

İdeal paralel bobin tasarımı Şekil:4.4(c)'de gösterilmiştir. İki iletken boru uzun bir bobin meydana getirmek üzere birlikte sarılmıştır. Refrakter üzerinde bütün bobin yüksekliğince soğuma eşit ve verim en yüksek düzeydedir.

Şekil:4.4(b) de ise ters yönlere sarılmış iki bobin bölümü görülmektedir. Burada potansiyel bir bobin bölümünün sonu ile diğerinin başlangıcı arasında değildir. Bununla beraber yine de iki iletken genişliğinde bir boşluk vardır, bu da refrakterin dengesiz soğumasına yol açar.

4.1.2.8 Bobin Bölümlerinin Sayısı

Şebeke frekanslı nüvesiz ocaklarda banyo hareketini azaltabilmek amacıyla güç bobinleri metal seviyesinin altında tutulur. Bobinin üst kısmında kalan pota bölümü bağımsız bir soğutma bobini ile kuşatılmıştır.

Ocakta yapılacak bazı metalurjik işlemler için (örneğin CaC ile kükürt giderme ve grafit ile karbürleme) bunun aksine güçlü bir banyo hareketi istenir. Bu fazla karışma üç bobinli ocaklarda, üstteki iki bobine akısı verilerek sağlanır. Böylece metalin üst seviyelerinde fazla güç harcanmaksızın ve büyük bir sıcaklık artışı yaratmadan karıştırma mümkün olur.

Güç kapasitesi yüksek olan ocaklarda, potanın alt kısmının aşırı ısınması nedeniyle tabanda aşınma hızlı olabilir. Üç bobinli ocaklarda metal seviyesi yüksek (% 60-70) olduğu zaman üstteki iki bobini kullanmak suretiyle bu ısınma ve aşınma azaltılabilir. Ergitme tamamlandıktan sonra metali ısıtmak için de sadece taban ve ortadaki bobinlerden faydalanılır.

4. 2. Magnetik Boyunduruklar (Şöntler)

Magnetik boyunduruklar uygun sayıdaki silisli çelik saçlarının bir araya sıkıştırılması ile yapılır. Bu levhalar daha sonra kamalanarak sağlam bir bütün oluşturacak şekilde kaynak edilir. Magnetik boyunduruklar için yapılması gerekli tek bakım işlemi bunların temiz tutulması ve metal döküntülerinden korunmasıdır. Boyundurukların bölgesel ısınma göstermesi halinde bunun tek nedeni metal sıçramalarıdır. Magnetik boyunduruklar gövdeden çıkan baskı cıvataları yardımı ile bobin dış yüzeyi ve gövde arasında tesbit edilirler. Boyunduruk ile bobin arasında, kısa devreyi önleyen ve yükü eşit olarak dağıtan yumuşak bir dolgu malzemesi bulunur. Magnetik boyundurukların diğer bir görevi de magnetik kuvvetler den kaynaklanan titreşimlerin söndürülmesidir.

4.3. Hidrolik Sistem

Ocağın döküm için devredilmesi, kapağın açılıp kapanması için kullanılır. Genellikle çift pompa ile çalıştırılır, bu pompalardan biri çalışırken diğeri yedekte bekletilir. Genellikle yanıcı, sıcağa dayanıklı ve yanmayan akışkanlarla çalıştırılabilen hidrolik sistemler indüksiyon ocaklarında yanmayan fosfat ester tipi akışkanlarla çalıştırılmaktadır. Sistemdeki conta ve salmastraların kullanılan akışkana uygun seçilmiş olması gerekir.

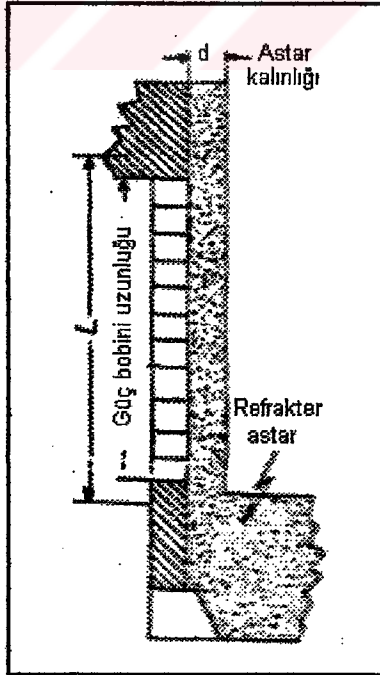
4.4. Refrakter Astar Tasarımı Ve Astar Aşınmalarının Ölçülmesi

İndüksiyon ocaklarında metalin bobine uzaklığı azaldıkça magnetik kuplaj daha iyi olur ve aynı ocak geriliminde daha fazla güç elde edilir. Buna karşılık refrakter kalınlığı azaldıkça, astar ömrü kısalmır. Bu yüzden tasarımda bir ocağın başarılı olup olmadığını refrakter kalınlığı ile verilen güç arasındaki denge belirler. Tasarım açısından Şekil 4.5'de gösterilen d ve L boyutları ile (dxL) alanı büyük önem taşır. Belirli bir ocak için L uzunluğu sabit olduğundan magnetik kuplaj ortalama astar kalınlığına bağlı ve bununla ters orantılıdır. Diğer bir deyişle belirli şartlar altında ocağın empedansı ortalama astar kalınlığının karşılaştırma ile bulunmasında kullanılabilir.

$$Güç = \frac{(Bobin\ üzerindeki\ voltaj)^2}{Empedans} \quad (4.1)$$

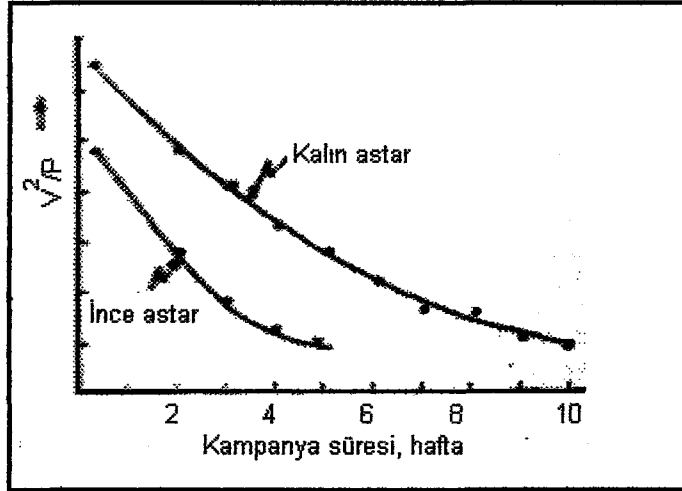
$$Empedans = \sqrt{V^2 / P} \quad (4.2)$$

Prensip olarak astar aşındıkça V / P empedans değeri de değişeceğinden V ve P yi ölçmek suretiyle astarın durumu hakkında bilgi sahibi olunabilir. Bu ölçümlerin doğru sonuçlar verebilmesi için ocağın o anda döküm sıcaklığında (sabit sıcaklıkta) ve tam dolu, güç kademesinin ise en yüksek değerde olması gerekmektedir.



Şekil 4.5 Bir indüksiyon ocağında L (bobin uzunluğu % 10) ve d' yi (astar kalınlığı) gösteren kesit resmi. Efektif astar kesiti (Lxd)ye eşittir.

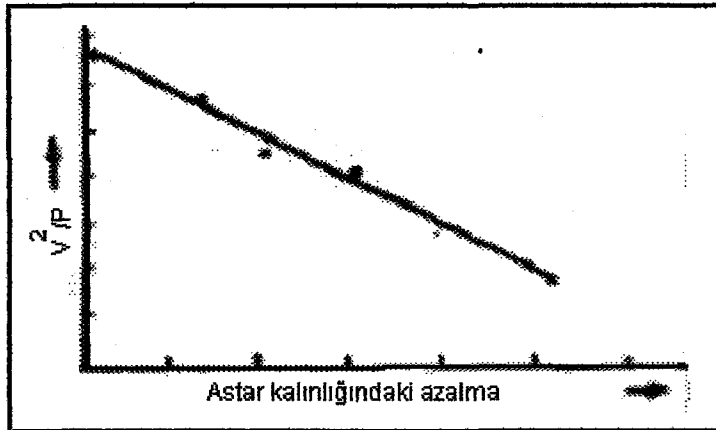
Yukarıda özetlenen şartlar altında zaman zaman yapılacak ölçümlerle Şekil:4.6'dakine benzer tipik v^2/p eğrileri elde edilebilir. Bu eğrilerin başlangıçta daha dik (yani aşınmanın daha hızlı) oluşu da dikkati çekmektedir.



Şekil 4.6 İki farklı astar kalınlığı ve tasarımı için kampanya süresince v^2/p oranının değişimi

v^2/p değerinin ortalama astar kalınlığını temsil ettiği, bölgesel aşırı aşınmaları göstermediği, bu yüzden göz veya ölçümle yapılacak astar muayeneleriyle birlikte değerlendirilmesi gerektiği unutulmamalıdır.

İndüksiyon ocağı işletmeciliğinde ölçülen v^2/p değerlerini Şekil:4.7'dekine benzer bir grafik üzerinde toplayarak gerçek V^2/P değerleri ile karşılaştırmak mümkündür. Böyle bir grafik yardımı ile ocakların tekrar astarlanması gereken zamanı gösteren V^2/P değerleri bulunabilir. Her ocak için çıkarılacak böyle bir grafik aynı zamanda ocağa verilen güçü maksimum seviyeye çıkaracak astar kalınlığını da belirleyebilir.



Şekil 4.7 Empedans ve astar kalınlığı değişimi

5. YARIİLETKEN GÜÇ KAYNAKLARI

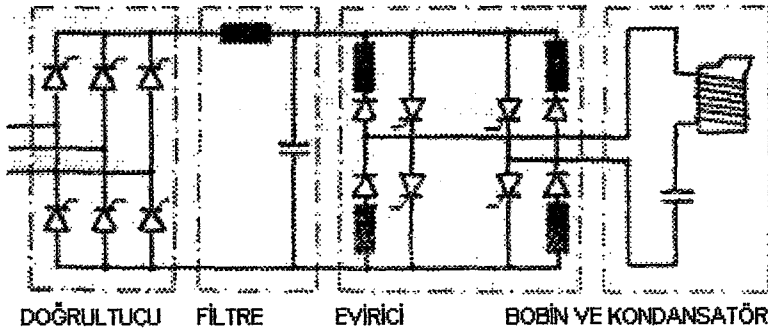
1958 yılında General Elektrik firması tarafından tristörlerin teknikte uygulamaya konulması ile, birçok elemanın yerine tristörler kullanılmaya başlanmıştır. Günümüzde 1 amperden küçük kapı akımı ile 1200 Voltta 1000 A den büyük akımları kontrol edecek tristörlerin bulunması, orta frekansta çalışan induksiyon fırınları besleme kaynağı tasarımında büyük kolaylıklar sağlamıştır. Yarıiletken güç kaynaklarının diğer besleme kaynaklarına göre üstünlükleri şunlardır :

- Çalışma gücünün kolaylıkla ayarlanabilmesi
- Verimlerinin % 90 m üzerine çıkabilmesi
- Isıl kayıplarının az olması
- Bakımlarının ve montajlarının kolay olması
- Statik kaynaklar olup çalınmalarının sessiz olması

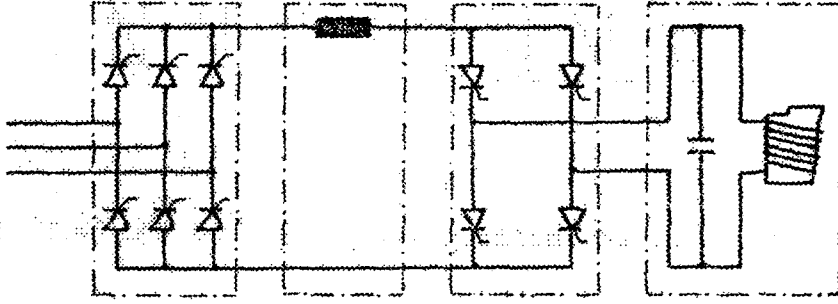
Bütün bu üstünlükleri nedeni ile induksiyon fırını besleme kaynaklarında yarıiletken malzemelerin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

Yarıiletken malzemelerle şebeke frekansından daha yüksek frekanslı akımlar elde edebilmek için,doğru gerilim veya doğru akım ara-devresi kullanmak gerekmektedir. Tristörlerin çalışmasına uygunluğu nedeni ile tristörlü besleme kaynakları rezonans komutasyonlu olarak yapılmaktadır. Şimdi induksiyon fırınlarını beslemek için yapılmış, DC ara devreli tristörlü dönüştürücüleri inceleyelim.

Şekil 5.1 ve 5.2 de görüldüğü gibi dönüştürücüler çeşitli ünitelerden meydana gelmektedir. Bu üniteler güç akış sırasına göre tek tek incelenecektir.



Şekil 5.1 Doğru gerilim ara devreli seri rezonanslı dönüştürücü



Şekil 5.2 Doğru akım ara devreli paralel rezonanslı dönüştürücü

5.1. Doğrultucu

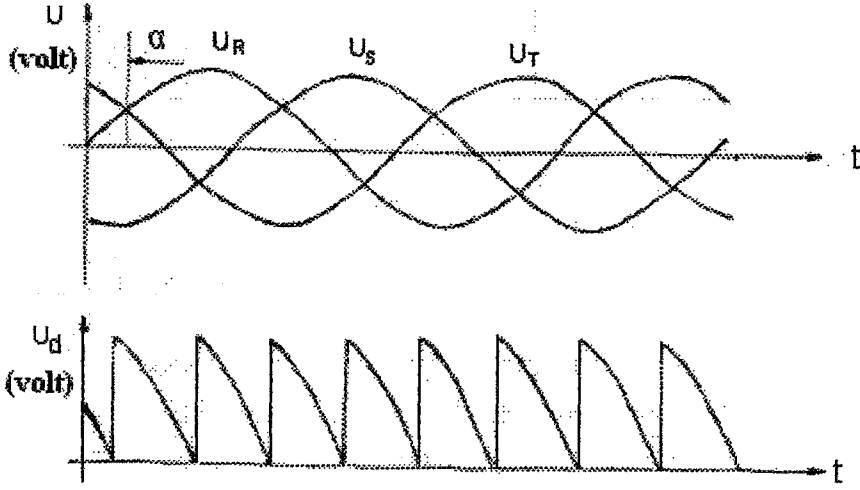
Doğrultucu kısmı genellikle tam kontrollü tristörlü köprü devresi ile gerçekleştirilir. Böylece evirici üniteye uygulanacak olan gerilimin ayarlı olması sağlanır. Köprü çıkışına ters diyot bağlı olmaması durumunda çıkış gerilimi;

$$U_d = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{\pi} \cdot U \cdot \cos \alpha \quad (5.1)$$

olur. Burada α tetikleme açısının 90° nin üzerine çıkartılması ile gerilimin negatif olacağı görülmektedir. Bunu önlemek amacı ile sadece negatif gerilimlerde ilettime geçecek bir diyot köprü çıkışına bağlanarak, çıkış gerilimi ortalama değerinin

$$U_d = \frac{3 \cdot \sqrt{3}}{2\pi} \cdot U \cdot (1 + \cos \alpha) \quad (5.2)$$

olması sağlanır.



Şekil 5.3 $\alpha = 60^\circ$ için çıkış gerilimi dalga şekli

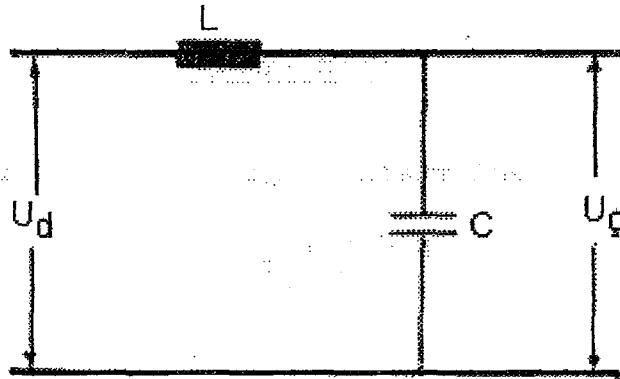
5.2 LC Süzgeç Devresi, L İndüktansı

Seri rezonanslı dönüştürücü için, filtre devresinin geçiş işlevi

$$\frac{U_\varphi}{U_d} = \frac{1}{W^2 LC - 1} \quad 5.3$$

olarak verilir. Bu bağıntıya göre LC elemanının seçimini yapmak gerekir. Fakat eviricin çalışması esnasında oluşan şu isteklere de bu elemanların uygun olması gerekir.

L elemanının seçiminde, herhangi bir nedenle evirici kısımda bir kısa devrenin oluşması anında, koruyucu elemanların açma süreleri göz önüne alınır. Ayrıca indüktansın, kıyılmış sinüs gerilimlerinin kondansatörü kısa devre etmemesi de gerekmektedir.



Şekil 5.4 LC Filtre devresi

I : Müsaade edilen kısa devre akımı

U_d : Doğrultucu çıkışındaki ortalama gerilim

I_o : Normal çalışma anında doğrultucudan çekilebilecek maksimum akım.

t_k : kısa devrenin sürmesine müsaade edilen süre olmak üzere

$$L = \frac{U_d}{I_k - I_o} t_k \quad (5.4)$$

olarak bulunur. Seri rezonans olayının iyi bir şekilde oluşabilmesi yani seri rezonans devresinden geçecek akımın sinüsoidal olabilmesi için, seri rezonans devresi besleme kaynağı geriliminin sabit olması gerekir. Bunu sağlayabilmek için C elemanın değerinin büyük seçilmesi gerekir. Ayrıca seri rezonanslı evirici devresindeki serbest dolaşım diodlarından akım akması ile enerji kaynağa iade edilmiş olur. C elemanının bu enerjiyi üzerine alabilmesi ve geriliminin de fazla yükselmemesi gerekmektedir. C elemanının seçiminde, bu durumda göz önüne alınmalıdır.

Paralel rezonans olayının tam olarak gerçekleşebilmesi için sabit akım kaynağı ile sürülmesi gerekir. Bunun için paralel rezonanslı dönüştürücülerde, çalışma akımındaki dalgalanmayı minimum yapacak şekilde büyük bir indüktans kullanmak gerekir.

$$k = \frac{1 + e^{-\pi/2Q}}{1 - e^{-\pi/2Q}} \quad (5.5)$$

$$Q = \frac{W \cdot L}{R} \quad (5.6)$$

$$\delta = \frac{I_{d\max} - I_{d\min}}{I_d} \quad (5.7)$$

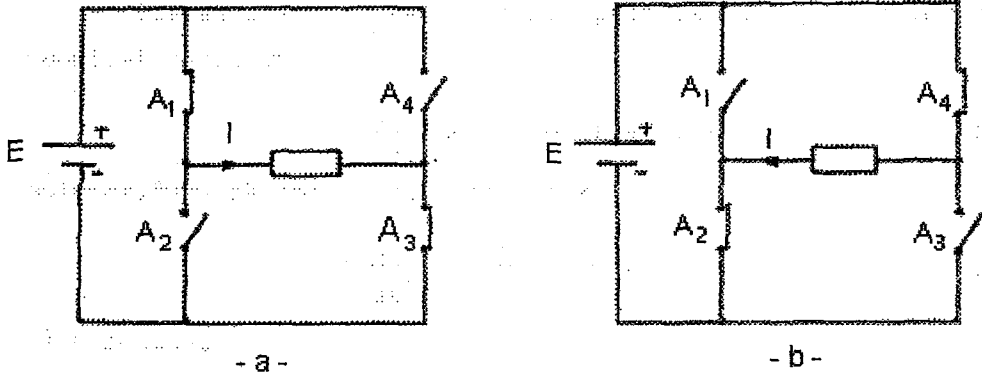
δ akım dalgalanma faktörü olmak üzere indüktansın değeri

$$L = \frac{0,42(1+k)Q \cdot R}{W \cdot \delta} \quad (5.8)$$

olarak bulunur.

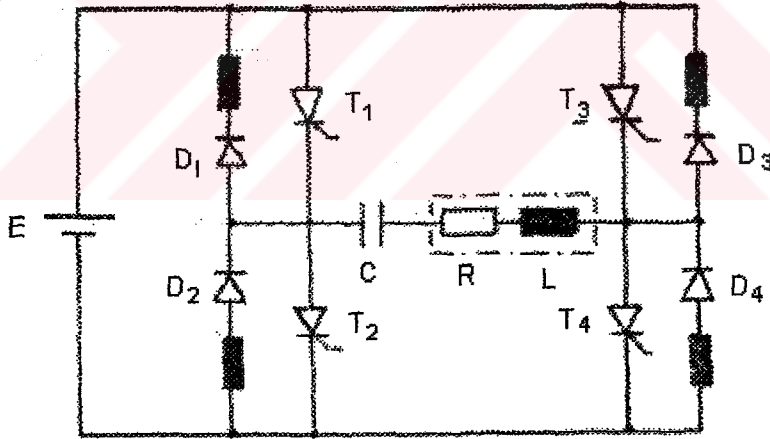
5.3. Evirici

Bütün eviricilerin ilkesi şekil 5.6'da görülen köprü devresinin çalışması ile izah edilebilir.



Şekil 5.6 Eviricilerin çalışma ilkesi

Şekil 5.6-a'da A_2 - A_4 anahtarları açık, A_1 - A_3 anahtarları kapalı iken akım yük üzerinde ileri yönde akarken, Şekil 5.6-b'de A_1 - A_3 anahtarları açık A_2 - A_4 anahtarlarının kapalı olması durumunda, akımın ters yönde akması sağlanabilir. Böylece yük üzerinden bir alternatif akım akıtmak mümkün olmaktadır. Şimdi tristörlü gerilim beslemeli bir eviricinin çalışmasını inceleyelim.



Şekil 5.7 Gerilim beslemeli tristörlü evirici

Bir seri RLC devresine doğru gerilim (E) uygulanırsa çevre denklemi yazılarak

$$L \frac{di}{dt} + R_i + \frac{1}{C} \int i dt = E \quad (5.9)$$

bulunur. Bu denklemin türevi alınarak

$$L \frac{d^2i}{dt^2} + R \frac{di}{dt} + \frac{i}{C} = 0 \quad (5.10)$$

elde edilir.

Karakteristik denklem

$$L\alpha^2 + R\alpha + \frac{1}{C} = 0 \quad (5.11)$$

olarak yazılırsa, kökler

$$\alpha = \frac{-R \pm \sqrt{R^2 - \frac{4L}{C}}}{2L} \quad (5.12)$$

olarak elde edilir. Burada kısaltma yapılarak

$$a = \frac{R}{2L} \quad (5.13)$$

ve

$$b = \sqrt{\frac{R^2}{4L^2} - \frac{1}{LC}} \quad (5.14)$$

yazarak

$$\alpha = a \pm b \quad (5.15)$$

ifadesi bulunur, Osilasyon α nın kompleks sayı olması ile başlayacağından, osilasyon şartı

$$\frac{1}{LC} > \frac{R^2}{4L^2} \quad (5.16)$$

dir. α nın kompleks sayı olduğu kabul edilirse $b = j\beta$ yazılabilir. Burada

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (5.17)$$

dir. (5.9) bağıntısından kondansatör üzerinde birikecek yük

$$\frac{1}{C} \int i dt = \frac{q}{C} = E - L \frac{di}{dt} - Ri \quad (5.18)$$

bağıntısından çekilin akım ve yük denklemlerinin genel ve özel çözümlerinin bulunması ile

$$i = \frac{2CE e^{-at}}{\sqrt{4LC - R^2C^2}} \sin \beta t \quad (5.19)$$

$$q = CE - \frac{2CE\sqrt{LC} e^{-at}}{\sqrt{4LC - R^2C^2}} \sin(\beta t + \theta) \quad (5.20)$$

olarak bulunur. Burada

$$\theta = \tan^{-1} \sqrt{\frac{4LC - R^2C^2}{RC}} \quad (5.21)$$

dir. Akımın ve q yüküne göre U kondansatör geriliminin değişimi çizilecek olursa; Şekil 5.8'de görüldüğü gibi akımın değeri sönerek sıfıra giderken kondansatör gerilimi de E gerilimine yükselmektedir (Arslan, 1987)

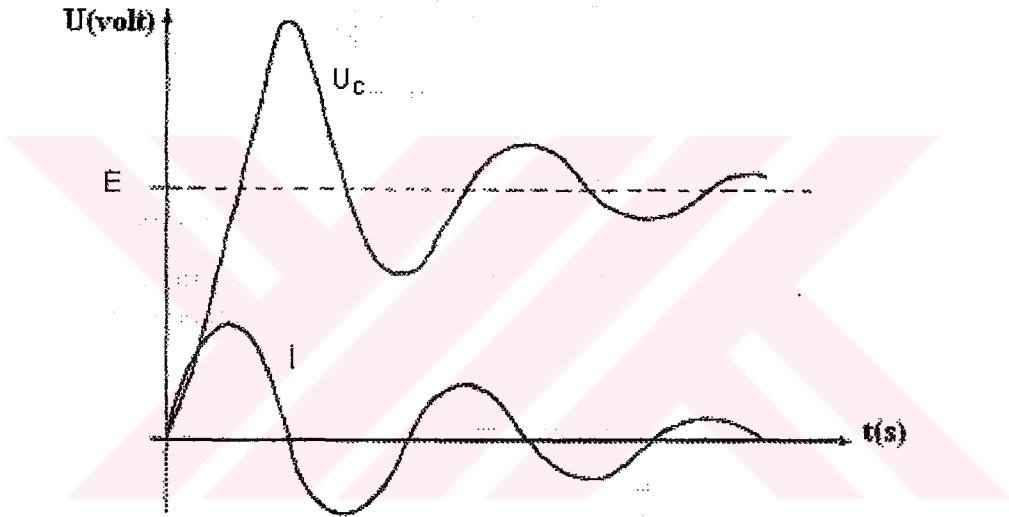
(5.19) bağıntısına göre akım fonksiyonu β açısal hızı ile salınarak sönmektedir. Bir salınım için

$$\beta_t = \beta_T = 2\pi \quad (5.22)$$

olacağından, rezonans frekansı bu ifade yardımı ile $T = 1/f_0$ yazılarak

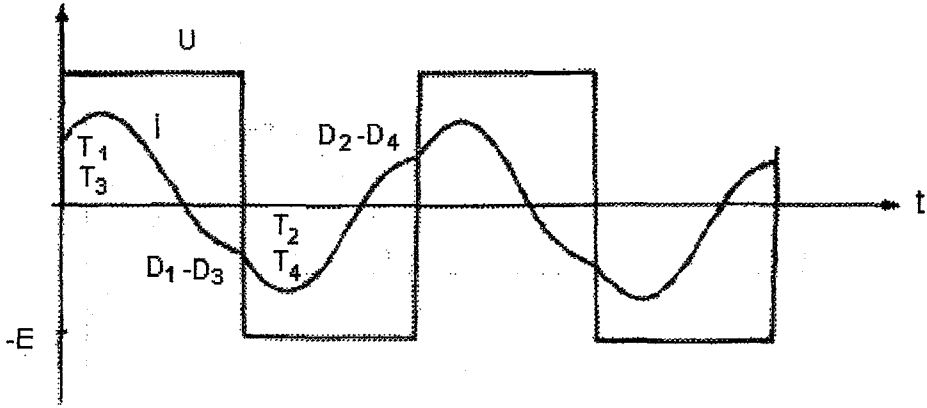
$$f_0 = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{1}{LC} - \frac{R^2}{4L^2}} \quad (5.23)$$

olarak bulunur.



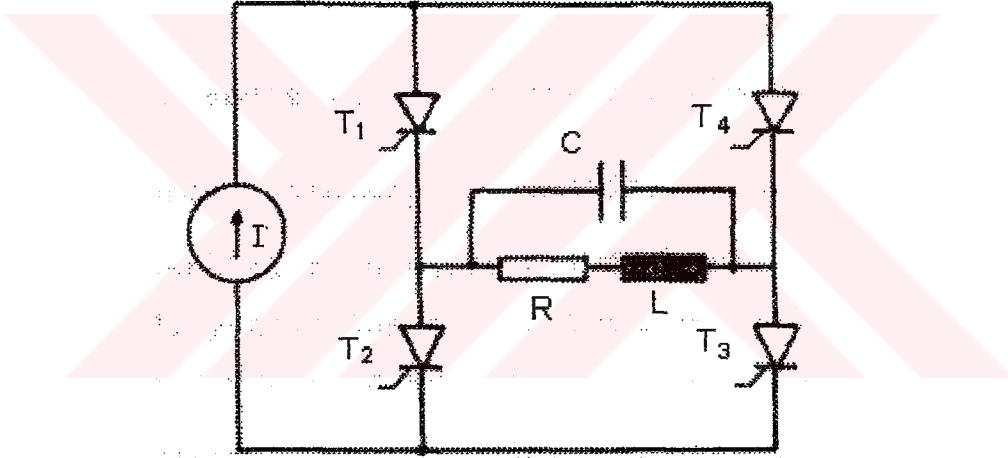
Şekil 5.8 Seri RLC devresine E doğru gerilimi uygulanınca i ve U_c nin değişimi.

Tristörlerin çalışmasına uygun olması nedeni ile indüksiyon fırını besleyen eviriciler, rezonans komutasyonlu olarak yapılırlar. Seri rezonans devresinde akım sıfırdan geçerken akım taşıyan tristörler T_1 - T_2 susma zamanları sonunda kesime giderler. Devreden ters dolaşmak isteyen rezonans akımını D_1 ve D_2 diyotları üzerlerine alır. Bu sırada eviricinin diğer tristörleri tetiklenerek ters yönde rezonans akımı akıtılır. Bu şekilde devam ederek yük üzerinden rezonans frekansında bir akım akıtmak mümkündür (Şekil 5.9).



Şekil 5.9 Seri rezonanslı eviricide akımın dalga şekli

Şimdi Şekil 5.10'dan paralel rezonanslı akım beslemeli eviricinin çalışmasını inceleyelim.

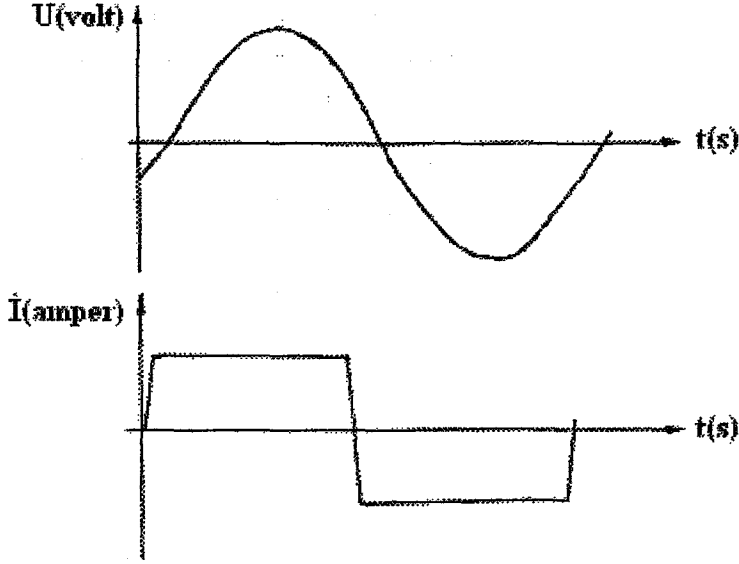


Şekil 5.10 Akım beslemeli tristörlü evirici

Şekil 5.10'da pota ve kondansatörün bağlantısı paralel RLC devresi olarak incelenebilir. Paralel RLC devresinin sabit bir akımla sürülmesi sonucunda elemanlar üzerindeki gerilimin değişimi sönümlü frekanslı sinüs dalgasıdır.

$$f_o = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \sqrt{1 - \frac{R^2C}{L}}$$

Gerilim sıfıra yaklaşırken tristörler yardımı ile akımın yönü değiştirilerek bu defa ters yönde rezonans olayı gerçekleştirilir. Böylece yük üzerine alternatif akım ve gerilim uygulanmış olur (Şekil 5.11).



Şekil 5.11 Akım beslemeli eviricide gerilim ve akımın değişimi

5.4. Rezonans Komutasyonlu Eviricilerin Karşılaştırılması

Seri ve paralel rezonanslı eviricilerin birbirine göre belirgin bir üstünlüğü yoktur. Bunun için bazı eviricilerde hem seri nemde paralel rezonans devresinin kullanılması tavsiye edilmektedir.

Paralel rezonanslı eviricilerin en önemli problemi, devrenin çalışmaya başlatılmasıdır. Bunun için yardımcı başlatma devrelerine gerek vardır. Ayrıca devrede kullanılan, sabit akım geçmesini sağlayan indüktansın doyuma girmemesi gerekir. Buna karşılık seri rezonanslı eviricide, yükteki tepkin gücün kaynağa geri verilmesi için tristörlere ters paralel bağlı diyodların kullanılması ve kaynağında bu enerjiyi alabilecek nitelikte olması gerekir.

Seri rezonans devresinde sargı gerilimi, kaynak geriliminden paralel rezonans devresinde ise bobin akımı kaynak akımından daha büyüktür.

Seri rezonans devresinde, bobin geriliminin, kaynak geriliminden büyük olması nedeniyle, daha küçük gerilim değerinde paralel rezonanslı devreden elde edilen güce erişilir. Bu tabi ki eviriciden daha fazla akım çekmekle mümkün olur. Buradan; seri rezonanslı eviricide kullanılan güç elektroniği elemanlarının düşük gerilimli büyük akımlı, paralel rezonanslı eviricide kullanılacak elemanların ise yüksek gerilimli, düşük akımlı olmalarının gerektiği görülmektedir.

Buraya kadar yapmış olduğumuz incelemelerde indüksiyon fırını için en uygun eviricilerin rezonans komutasyonlu eviriciler olduğu görülmüştür. Ayrıca, rezonans komutasyonlu eviricilerin, indüksiyon fırını potasının sıcaklıkla değişen parametrelerine uyum sağlayabilmeleri bir diğer iyi taraflarıdır.

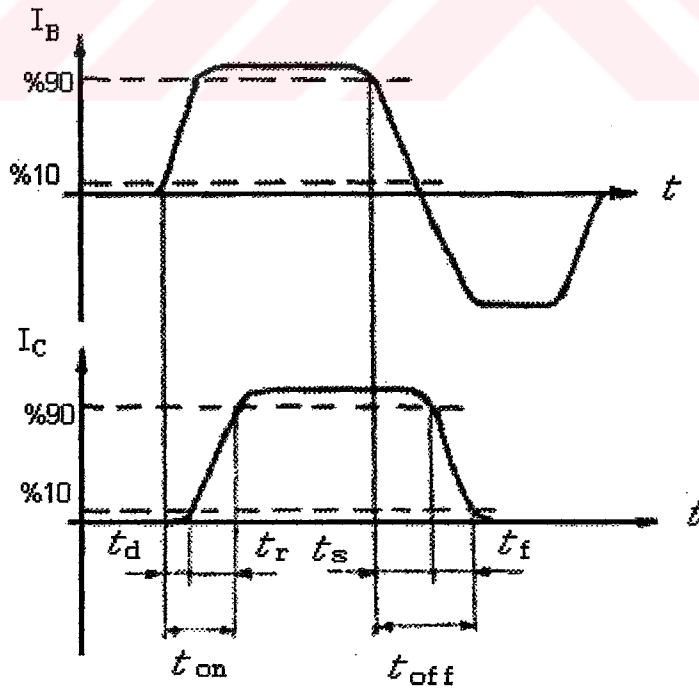
6. GÜÇ TRANSİSTÖRLERİ

6.1. Güç Transistörlerinin, İndüksiyon Fırınlarında Kullanılma Nedeni

Buraya kadar yapılmış olan incelemelerde, tristörlü devrelerle beslenen indüksiyon fırınlarından bahsedilmiş, bu tür kaynakların indüksiyon fırınları için çok uygun olduğu da görülmüştü. Fakat tristörlerin yapıları gereği yavaş çalışan elemanlar olması, büyük metal kapasiteli, çok küçük hurda parçalarını ergitme fırınlarında ve küçük metal kapasiteli ergitme ve ısıtma işlem fırınlarında kullanılmamalarına sebep olmaktadır. Ayrıca küçük sanayi kollarında kullanılan küçük güçlü fırınlarda frekansın ayarlanarak, aynı fırın ile metal ergitme ve ısıtma işlemlerinin yapılabilmesi için yüksek frekanslara çıkılması gerekmektedir. Bunun için tristörlerden daha hızlı çalışan ve gün geçtikçe geliştirilerek kontrol güçleri azaltılan güç transistörlerinin kullanılması kaçınılmaz hale gelmiştir.

6.2. Güç Transistörlerinin Anahtar Olarak Kullanılması

Güç transistörleri, büyük güçlerde çalışması nedeni ile daima anahtar olarak kullanılırlar. Güç transistörlerinin açma, kapama anındaki gecikme süreleri Şekil 6.1'de görülmektedir.



Şekil 6.1 Güç transistörü anahtarlama süreleri

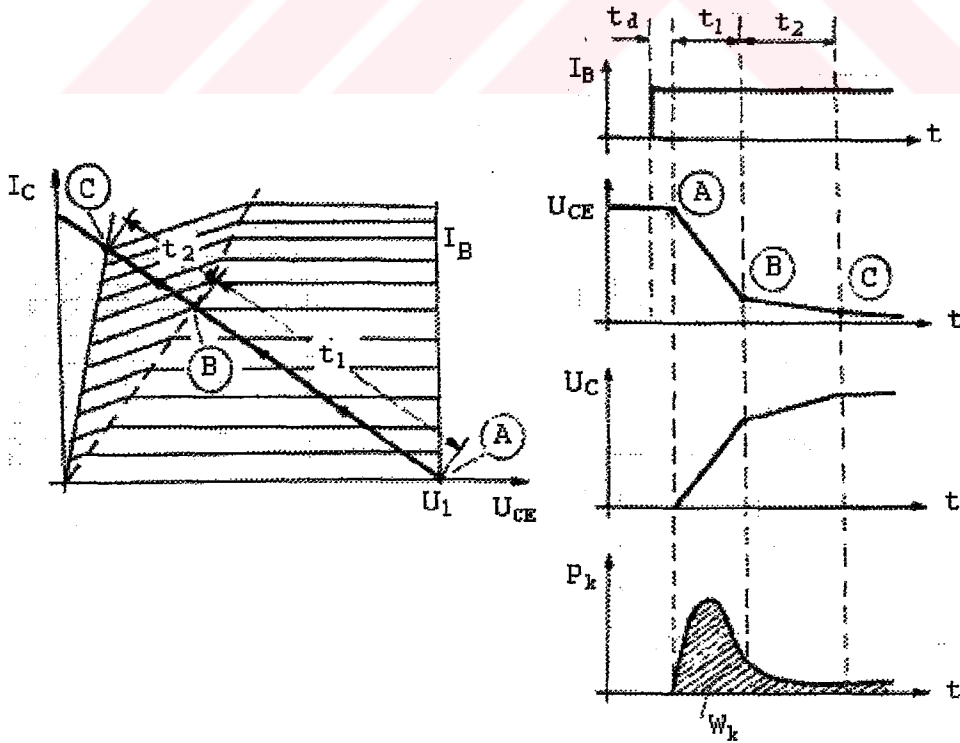
Şekil 6.1'de

- t_d : Kollektör akımının normal değerinin % 10 una ulaştığı zamanı (Gecikme Zamanı)
 t_r : Kollektör akımının normal değerinin % 10 undan, % 90 ına ulaştığı zamanı (Yükselme Zamanı)
 t_s : Kollektör akımının normal değerinin % 90 ına düştüğü zamanı (Yük Toplama Zamanı)
 t_f : Kollektör akımının normal değerinin % 90 ından, % 10 una düştüğü zamanı (Düşme Zamanı)
 t_{on} : iletme geçme zamanını
 t_{off} : Kesime gitme zamanını

göstermektedir. Bu süreler güç transistörünün çalışma frekansını da belirlemektedir. Şimdi güç transistörlerinin iletme ve kesime gitme olaylarını inceleyelim.

6.2.1. Güç Transistörünün İletime Geçmesi

Güç tranzostörüne uygun baz akımının uygulanması ile kollektör akımı artarken, transistör kollektör-emitör gerilimi de düşmektedir. Akım ve gerilimin yükselme ve düşme zamanları ne kadar düşük olursa, ikisinin çarpımı olan iletme geçme kayıp gücü de o kadar az olacaktır (Şekil 6.2).

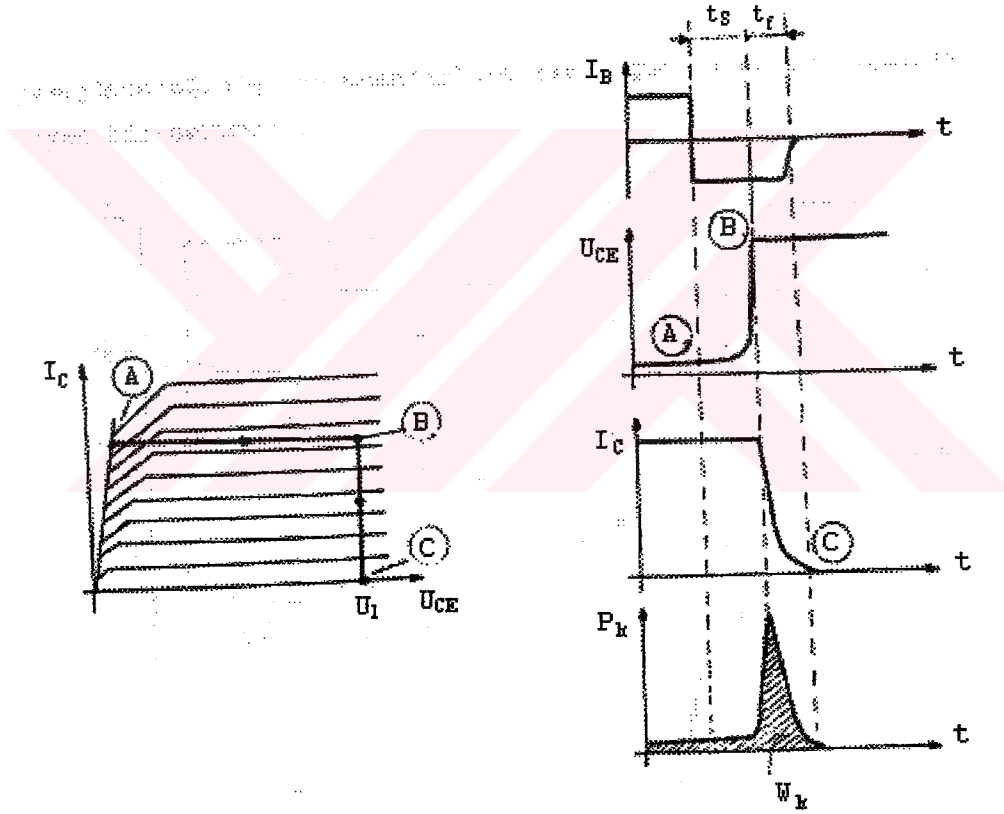


Şekil 6.2 Güç transistörünün iletme geçmesi

6.2.2. Güç Transistörünün Kesime Gitmesi

Güç transistörünün kesime sokulabilmesi için, bazından uygun değerde bir akımın çekilmesi gerekir. O zaman kollektör akımı azalırken kollektör-emitör gerilimi yükselecektir. Kollektör akımının değeri sıfır olunca, kollektör-emitör gerilimi de besleme gerilimine eşit olacaktır. Bu olaylar esnasında kollektör-emitör gerilimi ile kollektör akımının çarpımı, kesime gitme kayıp gücünü verecektir (Şekil 6.3).

Güç transistörlerinin iletme ve kesime gitme olayları uygulamada Şekil 6.2 ve Şekil 6.3'de görüldüğü gibi olmamakta, daha değişik olaylarla karşılaşmaktadır.



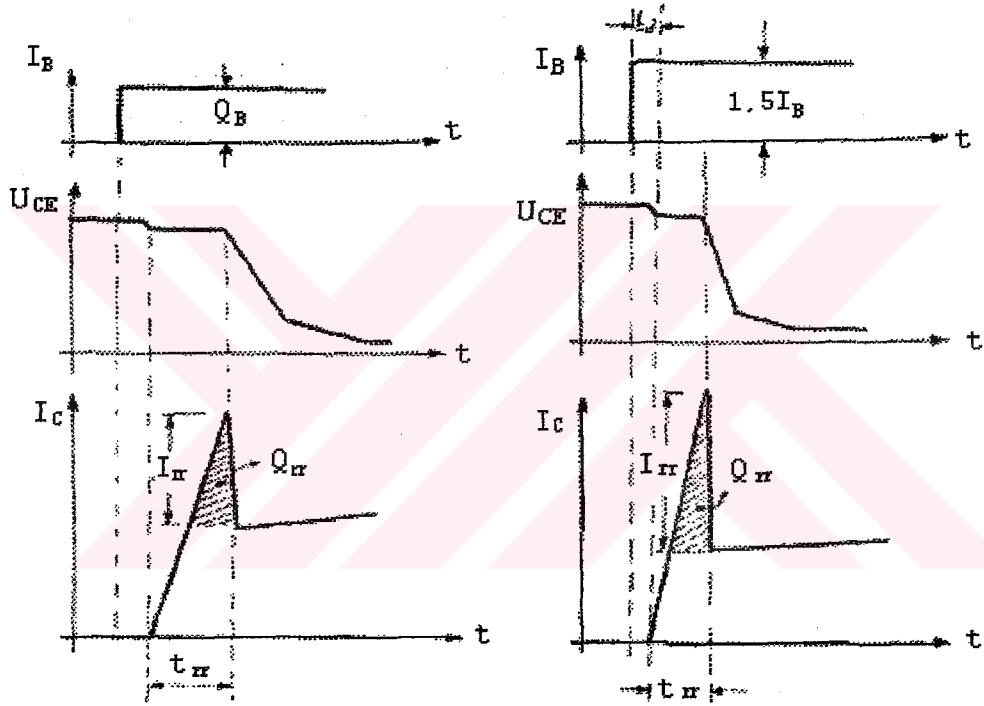
Şekil 6.3 Güç transistörünün kesime gitmesi

Özellikle; transistörlerde iletimi sağlayan yük taşıyıcılarının, iletme geçme anında hızla çoğaltılması, kesime gitme anında ise uygun bir şekilde toparlanması gerekmektedir. Bu iyileştirmenin yapılması ile yük taşıyıcıların oluşturacağı olumsuz etkilerin giderilmesi yanında, iletim ve kesim anındaki kayıplarda azalacaktır.

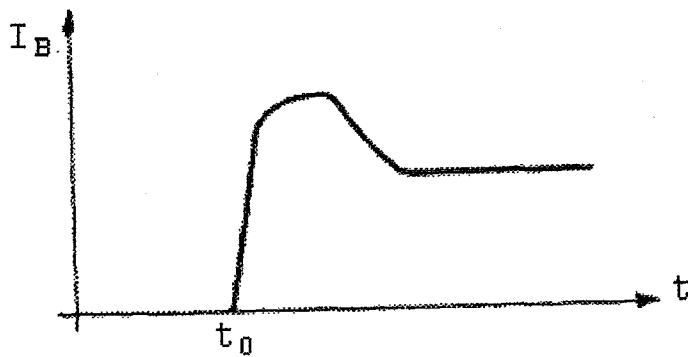
6.3. Güç Transistörlerinin İletime Geçmesinin İyileştirilmesi

Şekil 6.4'de görüldüğü gibi,transistörün önce I_B akımı ile sürülmesi halinde iletme geçme süresi uzun olmuştur. Aynı transistörün $1,5 I_B$ ilk baz akımı ile sürülmesi halinde iletme geçme süresi azalmıştır.

O halde güç transistörlerinde baz akımının, iletme geçme anında fazlalığının, iletme geçme olayından sonra, transistörün doyum bölgesinde çalışmaması için azaltılması gerekir (Şekil 6.5). Transistorün yüksek frekanslarda çalışılırken doyuma girmesi, kesime gitmesini yavaşlatacağından ve anahtarlama kayıp gücünü artıracığından istenilmeyen bir durumdur.



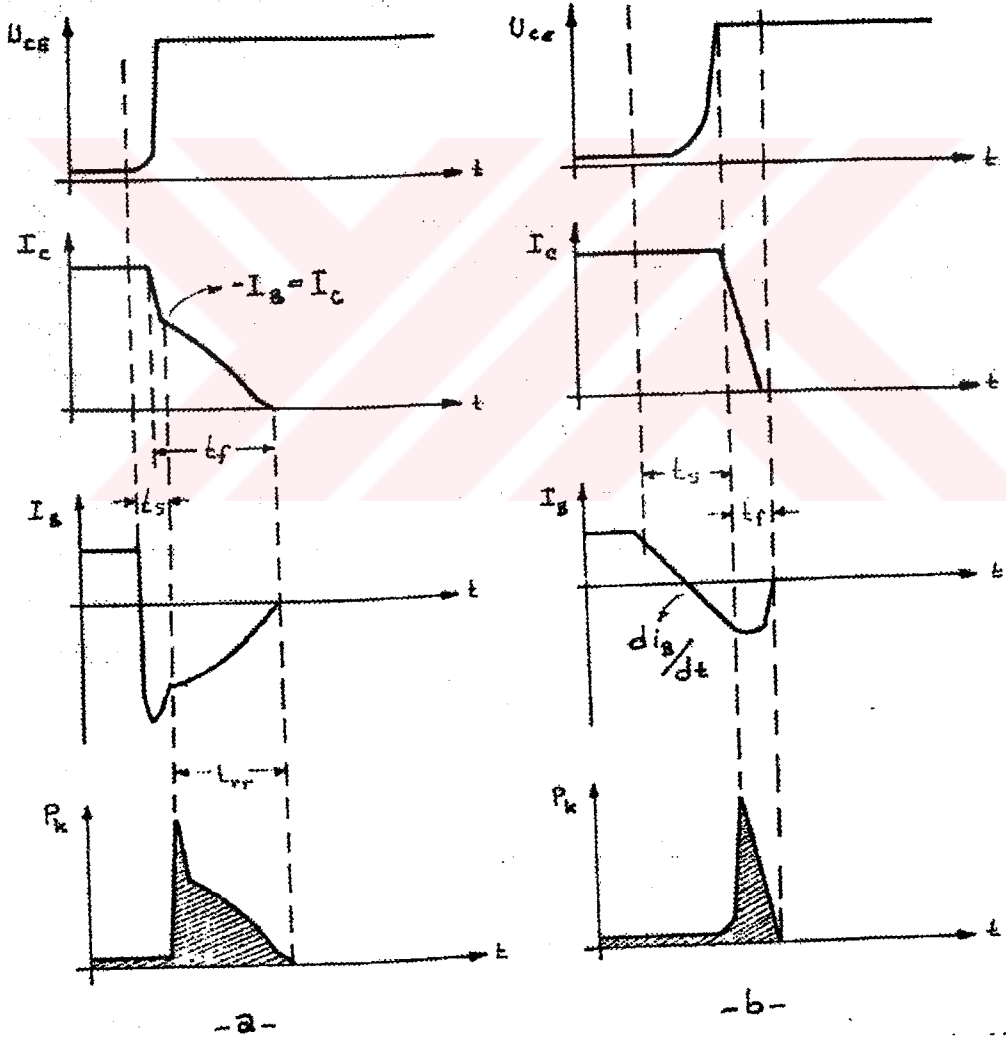
Şekil 6.4 Güç transistörünün iletme geçmesinin iyileştirilmesi



Şekil 6.5 Güç transistörünün iletme geçme anında iyileştirilmiş baz akımının değişimi

6.4. Güç Transistörlerinin Kesime Gitmesinin İyileştirilmesi

Bir güç transistörünün kesime sokulabilmesi için baz geriliminin -2,5 ile -5 volt arasında bir gerilime bağlanması ve bazdan uygun değer ve eğimle baz akımının çekilmesi gerekir. Böyle yapılmayıp baz akımının birdenbire büyük bir negatif değere çekilmesi durumunda Şekil 6.6a'da görüldüğü gibi $-I_B > I_C$ den itibaren kuyruk akımı denilen akımlar oluşur ve kesime gitme kayıpları artar. Baz akımının negatife çekilirken uyulması gereken di_B/dt eğimi yapımcı firma katalogunda verilen toparlanma süresine (reverse recovery time) uygun olarak seçilmelidir. Uygun eğim ve değerde bazdan akım çekilmesi durumunda kesime gitme anındaki değişimler Şekil 6.6b de gösterilmektedir.



Şekil 6.6 Güç transistörünün kesime gitmesinin iyileştirilmesi

7. DENEYSEL ÇALIŞMALAR

Tasarımı yapılmış olan indüksiyon fırınının iki gayesi vardır. Bunlardan en önemlisi kontrollü bir araştırma fırını olmasıdır. Çeşitli maksatlar ile geliştirilmekte olan malzemelerin (Akıllı malzemeler, Süper iletkenler, Nükleer tıpta kullanılan çeşitli dedektörler) imalinde ve termal araştırmalarda, cam malzemeye dayalı eşya üretiminde kullanılması ve aynı zamanda da metal eritmede ve küçük çapta döküm elde edilmesinde yararlı olacaktır. Aşağıda sanayi kullanımına yönelik gerekli bilgiler verilmiştir.

7.1 Tasarım ve Transformatör hesaplamaları

Tasarımı yapılacak fırında alüminyum, bakır veya benzeri metaller indüksiyon ergitme yöntemi kullanılarak ergitilecektir. Düşük kapasitede, küçük laboratuvar tipi bir ergitme fırını olarak tasarlanan indüksiyon fırını için aşağıdaki veriler esas kabul edilecektir.

1. Ergitilecek metal cinsi: Bakır, Alüminyum
2. Ergitilecek metal miktarı: 6 Kg/saat
3. Alüminyumun 1084 C° ye kadar ısıtılması için gerekli ısı miktarı: 172 Kcal/kg
4. Sıvılaştırılmış bakırın kaynama sıcaklığı: 2595 C°
5. Sıvı bakır ısınma ısısı: 0,112 Kcal/Kgh
6. Fırın ısı kaçakları: % 20
7. Fırın transformatör kayıpları: % 5
8. Demir kaybı/ Bakır kaybı = W_{Fe}/W_{Cu} : 1.6
9. Endüksiyon şiddeti: B=16000 Gauss
10. Frekans: f=50 Hz
11. Bakır teldeki akım yoğunluğu (tabii soğutmalı): J = 200 Amp/Cm²
12. Tek fazlı transformatör: C = 0,40 Farad

7.2 Fırın transformatör gücünün hesaplanması (Bakır ergitme)

Fırın transformatör gücünü etkileyen belli başlı faktörler şunlardır.

1. Malzemenin ergitilmesi için gerekli ısı ihtiyacı
2. Isı kayıpları,
3. Elektrik kayıpları,
4. Elektrik gücü (Isıtma süresi 1 saat),

5. Ergitilecek miktar (6 kg),
6. Nüve kesiti.

Şimdi bunları birer birer hesaplayalım.

7.2.1 Malzemenin ergitilmesi için gerekli ısı ihtiyacı

Malzemenin ergitilmesi için formül,

$$Q = G [Q_k + Q_E (T_k - T_e)]$$

Burada:

Q : Metalin kaynama noktasına kadar alacağı ısı miktarı (KCal),

Q_k : Metalin ergime noktasına kadar ısıtılması için gerekli ısı miktarı (Kcal/kg)

Q_E : Sıvı haldeki metale verilmesi gerekli ısı miktarı (Kcal/kg)

G : Ergitilecek metalin ağırlığı (kg),

T_k : Metalin kaynama noktası (C°),

T_e : Metalin ergime noktası (C°).

Buna göre:

$$\begin{aligned} Q &= G (172 + 0,112 (2595 - 1084)) \\ &= G (172 + 169) = 341 G \end{aligned}$$

bulunur.

7.2.2 Isı kayıpları

Isı kayıpları normalde kullanılması gereken ısı miktarının % 20 fazlası alınarak hesaplanır.

$$Q_k = \% 20 Q$$

$$Q_T = Q + Q_k = 1,2 * 341 G = 409,2 G$$

7.2.3 Elektrik kayıpları

Toplam ısı ihtiyacının % 5 fazlası alınır.

$$\Sigma Q_T = 1,05 * Q_T = 430 G$$

7.2.4 Elektrik Gücü

Elektrik gücünün hesaplanmasında ergitme süresi olarak 1 saatlik süre alınmış, 1 kwh elektrik enerjisinin ısısal değeri de 860 Kcal kabul edilmiştir. Buna göre:

$$N_{kW} = \frac{430G}{860} = 0,5G \text{ olarak bulunur.}$$

7.2.5 Ergitilecek miktar

Potada ergitilecek metal miktarı 6 kg olarak düşünülmüştür. Buna göre:

$$N = 0,5 * 6 = 3 \text{ kW Aktif güç,}$$

$$\text{Cos } \varphi = 0,8 \text{ ise}$$

$$N_{KVA} = \frac{3}{0,8} = 3,75 \text{ KVA Görünür güç olarak bulunur.}$$

7.2.5 Nüve Kesiti

$$A_c = C \sqrt{\frac{N_{KVA} \frac{G_F}{G_C} 10^{11}}{BAf}}$$

$$A_c = 0,40 \sqrt{\frac{3,75 \cdot 1,6 \cdot 10^{11}}{16000 \cdot 200 \cdot 50}} = 0,4 \sqrt{\frac{6 \cdot 10^3}{1,6}}$$

$$A_c = 0,40 \times 61,23 = 24,49 \text{ cm}^2$$

$$A_c = 5 \times 5 = 25 \text{ cm}^2$$

7.2.7 Tel kesiti ve Transformatör Primer Siper Devre Sayısı

$$B = 16000 \text{ Gauss}$$

$$\emptyset = B \times A_c = 25 \times 16000 = 400 \text{ 000 Makswell}$$

$$i = \frac{N_{KVA}}{E} = \frac{3750W}{220V} = 17 \text{ Amp.}$$

$$q = \frac{i}{A_{Cu}} \text{ dan,}$$

$$q = \frac{17}{200} = 0,085 \text{ cm}^2 = 8,5 \text{ mm}^2 \text{ Tel kesit alanı.}$$

Burada:

q : Tel kesit alanı (mm²),

J_{Cu} : Akım yoğunluğu (200 Amp/cm²),

i : Akım şiddetidir.

Primer gerilim:

$$E_p = 4,44 \cdot f \cdot n \cdot \emptyset \cdot 10^{-8} = 0,888 \text{ n}$$

$$n = \frac{220V}{0,888} = 247,74 = 248 \text{ siper. } \% 10 \text{ fazlası} = 1,1 \times 248 = 273 \text{ siper.}$$

Burada:

f : frekans

n : Siper sayısı

$\emptyset = A_{Fe} \cdot B$, (A_{Fe} : Demir çekirdek kesiti, B : İndüksiyon 16000 Gauss)

$$N_{KVA} = 4,44 \cdot f \cdot n \cdot \emptyset \cdot 10^{-8} =$$

$$= 0,888 \times 248 \times 17 \times 10^{-3} = 3,75 \text{ KVA}$$

Tel çapı :

$$d = \sqrt{\frac{4q}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 8,5}{\pi}} = 3,28976$$

$$d = 3,5 \text{ mm} \quad q = 9,62 \text{ mm}^2$$

7.2.8 Bobin boyutları

Primer devre bobin boyutları Şekil 7.1'de görüldüğü gibidir.

$$n_w = \frac{222 \cdot f_s}{q} = \frac{222 \cdot 0,9}{3,5} = 57 \text{ Tek sıra siper adedi. Burada } f_s \text{ sarım boşluk katsayısı, } q \text{ ise tel}$$

çapı olarak alınmıştır.

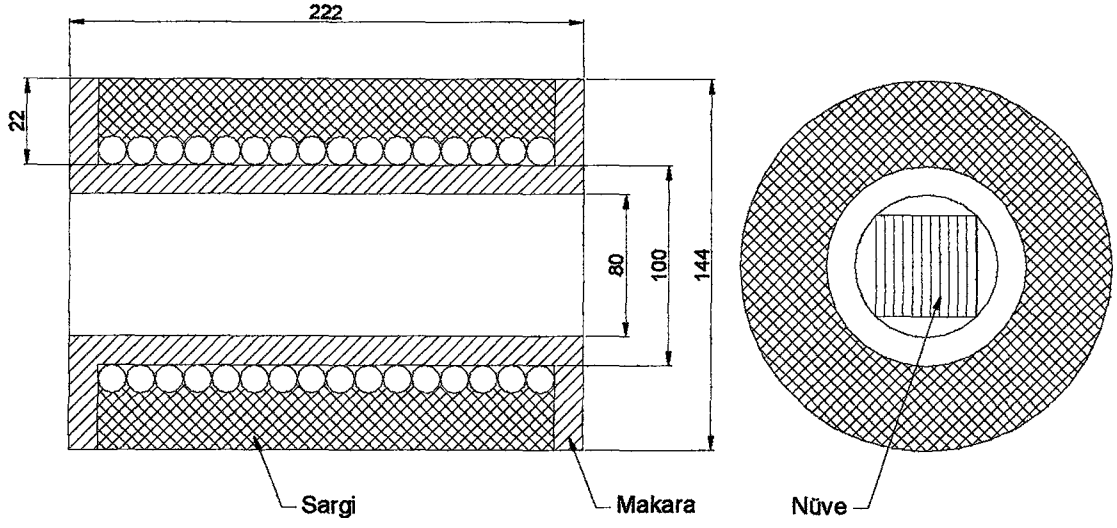
$$\frac{n_w}{57} = \frac{275}{57} = 5 \text{ Bobin kat adedi}$$

$$e = \frac{3,5 \cdot 4}{0,9} = 15,5 \cong 16 \text{ mm}$$

Tel uzunluğu ve miktarı:

$$L = d_m \cdot \pi \cdot n = (10+1,6) 3,14 \cdot 275 = 10021,68 \text{ cm} \sim 101 \text{ m}$$

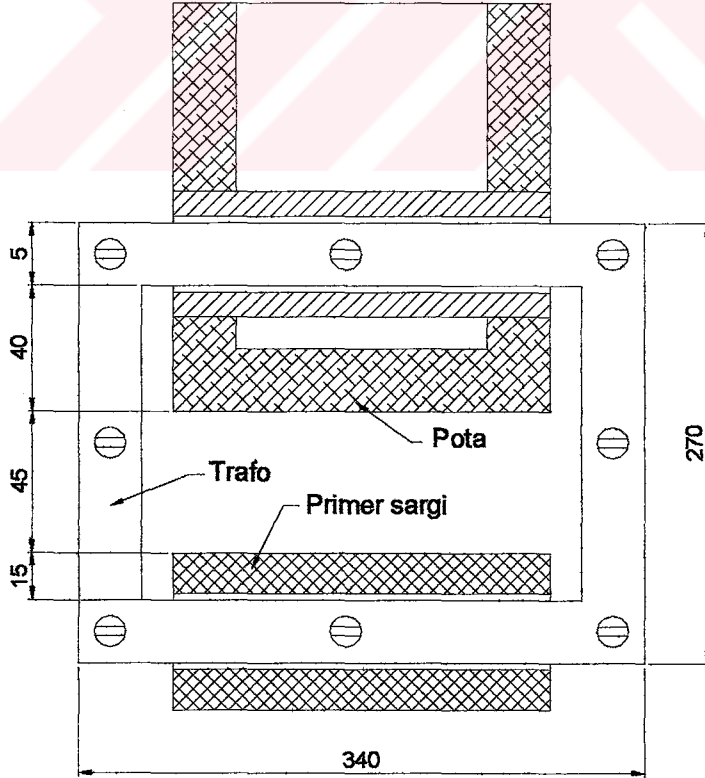
$$G_{Cu} = \pi D^2 / 4 \cdot L \cdot \gamma = 0,0962 \cdot 10100 \cdot 8,9 = 8647 \text{ gr} \sim 8,65 \text{ kg}$$



Şekil 7.1 Primer devre bobini

7.2.9 Magnetik Devre ve Gövde Boyutları

Magnetik Devre ve Gövde Boyutları Şekil 7.2’de görüldüğü gibidir.



Şekil 7.2 Magnetik devre

Transformatör 0,5 mm sacdan üretilecektir. Buna göre transformatör toplam nüve hacmi:

$$V = 2(34 \cdot 25) + (17 \cdot 25) = 2550 \text{ Cm}^3$$

Toplam nüve ağırlığı:

$$G_{Fe} = 2,6 \text{ dm}^3 \cdot 7,8 \text{ kg/dm}^3 = 19,500 \text{ kg}$$

$$G_{Fe} / G_{Cu} = 19,500 / 9,024 = 2,16$$

7.2.10 Elektrik devre hesapları fiili durumu

$$\phi_t = \frac{E_p \cdot 10^8}{4,44 \cdot f \cdot n} = \frac{220 \cdot 10^8}{4,44 \cdot 50 \cdot 275} = \frac{220 \cdot 10^8}{61050} = 360360 \text{ Maxwell}$$

$\phi_t = A_{Fe} \cdot \beta$ Burada A_{Fe} nüve çekirdek kesit alanı, β indüksiyon Gauss

$$\beta = \frac{\phi}{S} = \frac{360360}{25} = 14414 \text{ Gauss}$$

Akım yoğunluğu:

$$\frac{17}{\frac{\pi}{4} \cdot 0,16} = \frac{17}{0,0962} \cong 177 \frac{\text{Amp}}{\text{cm}^2}$$

Bakırdaki yaklaşık ısı kaybı:

$$W_{Cu} = I^2 \cdot R = 17^2 \frac{105}{56 \cdot 9,62} = 43 \text{ Watt.}$$

Demirdeki yaklaşık ısı kaybı:

$G_{Fe} = 19,5 \text{ kg}$, $f = 50 \text{ Hz}$ Gausta kayıp 0,055

$$0,055 \cdot 19,5 \cdot 50 = 53,625$$

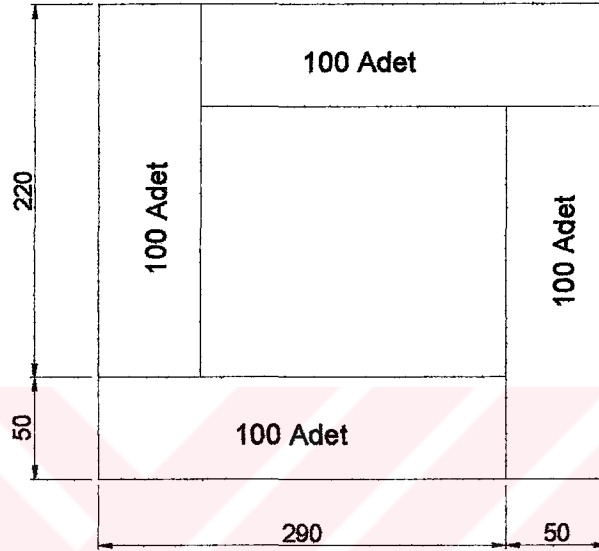
$$\frac{W_{Fe}}{W_{Cu}} = \frac{53,626}{43} = 1,24$$

$$W_{Fe} + W_{Cu} = 43 + 53,625 = 96,625 \text{ Watt}$$

$$96,6 / 3500 = 0,02761 \sim \% 3$$

$$A_c = 0,40 \sqrt{\frac{375 \cdot 2,16 \cdot 10^{11}}{14444 \cdot 50 \cdot 177}} = 0,40 \sqrt{\frac{8,1 \cdot 10^{11}}{127829 \cdot 400}} = 0,4 \sqrt{\frac{8,1 \cdot 10^3}{1,28}} =$$

$A_c = 31,8 \text{ cm}^2$ bulunur. Biz kesit alanını 25 cm^2 aldık (Şekil 7.3).



Şekil 7.3 Transformator boyutları

Sac miktarı:

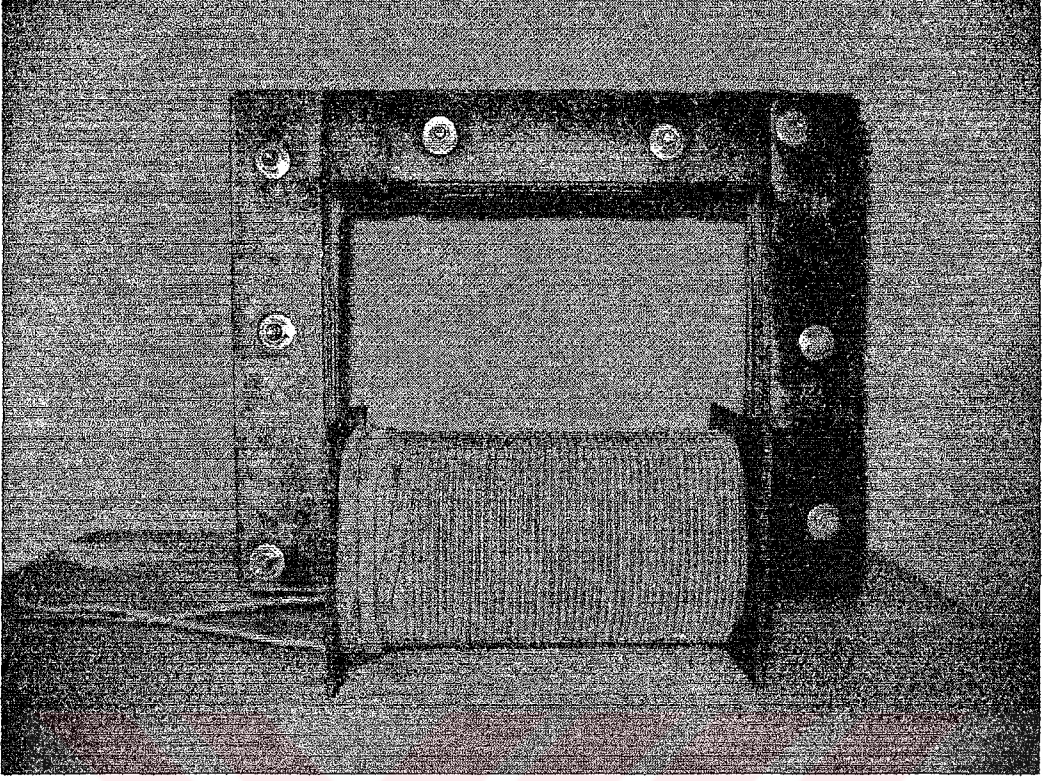
$$220 \times 50 = 100 \text{ adet,}$$

$290 \times 50 = 100$ adet sac levha transformator yapımı için kullanılacaktır.

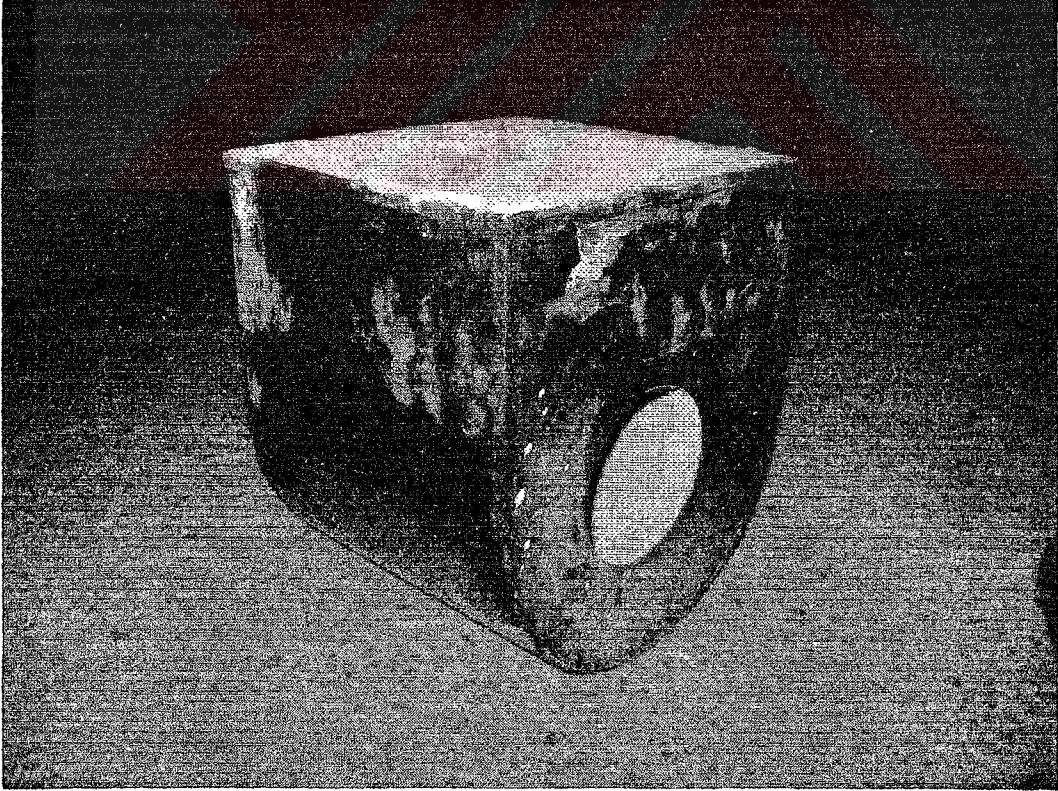
Bobin teli için $\varnothing 3,5$ mm çapında altı emaye üstü cam elyaf izoleli olacaktır.

7.2.10 Tasarlanan ve Üretilen İndüksiyon Ergitme Fırınının Denenmesi

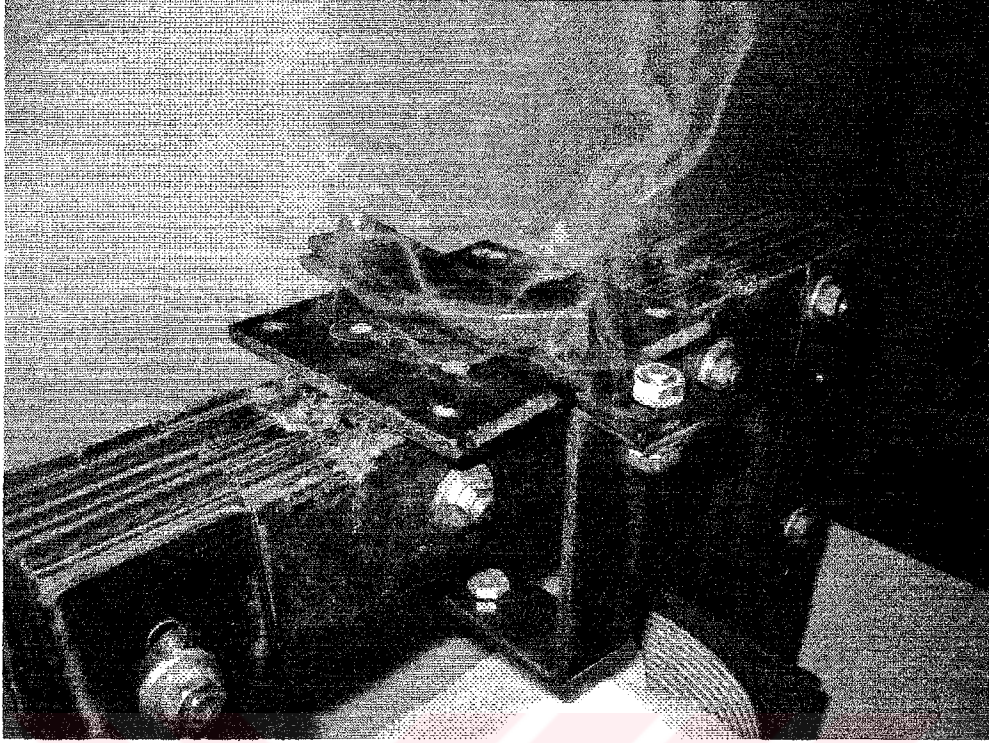
Yukarıda yapılan hesaplamalara göre bulunan boyutlarda önce transformator, silisyum kaplamalı $0,5$ mm kalınlığındaki orijinal transformator saclarından üretilmiştir. Daha sonra özel olarak üretilen $3,5$ mm çapında altı emaye üstü cam elyaf izoleli bobin teli transformatorün primer tarafındaki makara üzerine sarılmıştır (Şekil 7.4). Transformatorün sekonderine ise uygun boyutlarda bir pota yapılmıştır (Şekil 7.5). Şekil 7.6 Sekondere takılan bir halkanın ısınma anındaki görünümünü yansıtmaktadır. Bu resim çekimi sırasında primer akımı 220 V , 6 A , metal halkada meydana gelen sekonder akımı ise 300 A ölçülmüştür. Şekil 7.7 ise transformator ile potanın montaj edilmiş halini göstermektedir.



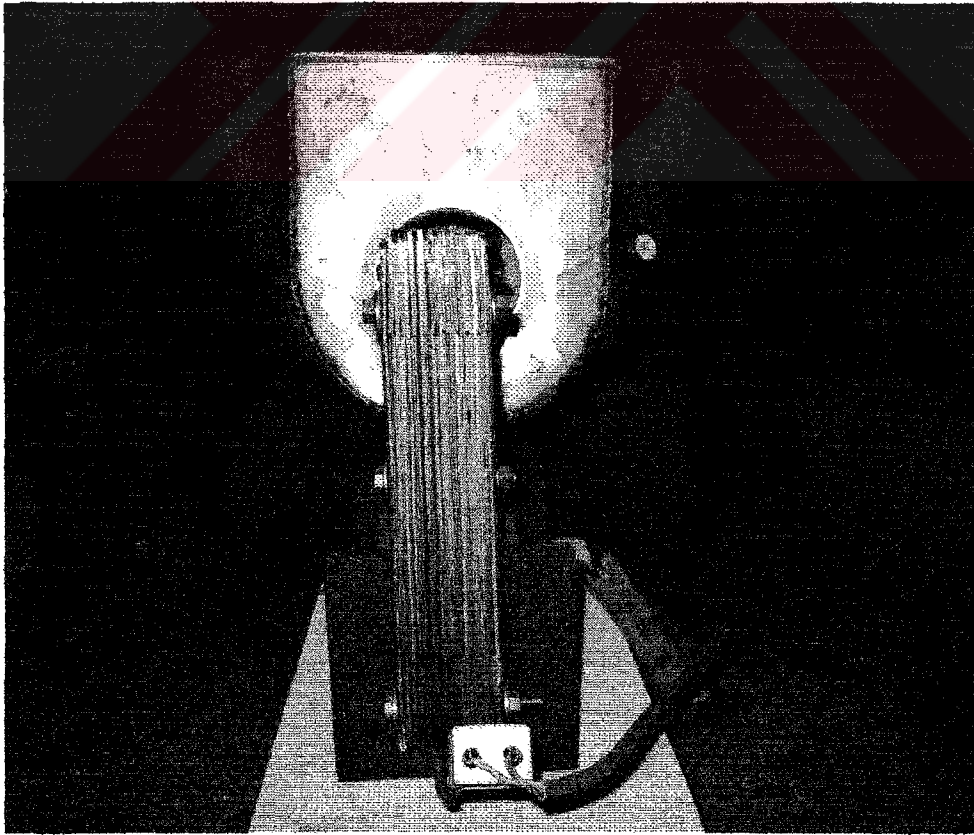
Şekil 7.4 Üretilen transformatör



Şekil 7.5 Üretilen pota



Şekil 7.6 Üretilen transformatörün sekonderine takılan bir bakır halkanın indüksiyon akımı ile ısıtılması



Şekil 7.7 Üretilen transformatörün potaya montaj yapılmış görünümü

8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde indüksiyon akımı ile metallerin ergitilmesi için çekirdekli bir indüksiyon ergitici tasarımı yapılmıştır. Daha sonra tasarlanan ergitici ile indüksiyon ergitme yöntemi kullanılarak magnetik olan ve magnetik olmayan metaller ergitilmiştir..

İndüksiyon ergitici şehir şebekesine bağlı olarak 220 V ile çalışmakta ve tam yükte 300 A kadar bir akım çekmektedir. Bu şebeke değerleri ile 5 kg metali yaklaşık bir saatlik bir süre zarfında ergitmektedir.

Deneyler sonucunda tasarlanan sistemin laboratuvar ortamlarında kullanılabilceği anlaşılmıştır. Sistem küçük kapasiteli kullanımlar için uygun olup uzun süreli ergitmelerde transformatörün fazla ısınması nedeniyle kullanılmamalıdır. Transformatör üzerinde bulunan primer sargı bobini emayeli olduğu için kısa süreli ısıtmalara karşı oldukça dayanıklıdır.

Sistemin en önemli dezavantajı ergitme işleminde sadece tek tip alaşımın ergitilebilmesi olup başka bir alaşım ergitilmek istendiğinde potanın iyice boşaltılması ve yeni alaşımın ergitilmesine hazırlanmalıdır.

KAYNAKLAR

Arslan A., 1987, İndüksiyonla Isıtma, Fırat Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, ELAZIĞ.

Bayındır, S., Çelik, S., 1992, Ergitme ve Tavlama İşlemlerinde Kullanılan Endüksiyon Fırını Bobininin Optimum Tasarımı. 9.Eylül Ü., Müh. Fak., Erciyes Ü.Müh. Fak., Makalesi.

Boylestad, R., Nashelsky, L., 1987, Electronic Devices and Circuit Theory Printed in the USA, Mexico.

Coşkun, İ., 1987, Doğru Akım Motorlarında Hız Kontrolü ve Yeni Bir Doğru Akım Darbeciyici Tasarımı. Doktora tezi, G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

Courtesy of Teledvne Semiconductor. Data Book.

Çavuşoğlu, E.N, 1981, Döküm teknolojisi, I.T.Ü. Matbaası, sayı: 1177, İstanbul

Davies, J., Simpson, P., 1979, Induction Heating Handbook. McGRAW-HILL Book, Com. Lim. London.

Edwin, R. J. 1971, Solid State Electronics. Hadden Croftsman Inc, Pennsylvania.

Harry, I. L., Jeffress. R. D. , 1991, Elements of Induction Heating, California.

Kuhlmann J, H., Berkal A. N., 1951, Elektrik Makinaları Hesabı, Yıldız Teknik Okulu Yayınları Sayı 54, Sah. 377 formül 212, İstanbul.

Keklik, H., 1986, A New Control System For Induction Heating Applications. A Master's Thesis in Middle East Technical University, Ankara.

Kurulu, D, 1989, Güç Elektroniği Eğitim Semineri Elk. Müh. Odası, K.T.Ü. Elk. Elekt. Müh. Bölümü Seminer notları, Samsun.

Metals Handbook, ASM 1974

Mohan Ned, Undeland T. M., and Robblns W. P., 1989, Power Electronics: Converters. Applications, and Design. Canada.

Seguier G., 1986, Power Electronic Converters: AC-DC Conversion. UK.

Şenses A., 1995, Mağnetik Olmayan Metallerin Ergitilmesinde Kullanılan Yarıiletkenli İndüksiyon Fırınının Tasarımı ve Uygulaması, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Yüksek Lisans Tezi, Ankara.

Üçtuğ, Y., 1982, A medium Frequency Converter For Induction Heating. A Master Thesis Of Middle East Tecnicl Universty, Ankara.

ÖZGEÇMİŞ

Ömer elik 1978 yılında Elazığ'da doğdu. İlk, orta ve lise tahsilini doğduğu yerde tamamladı. Daha sonra üniversite seçme sınavına girerek Fırat Üniversitesi Teknik Eğitim Fakültesi Elektrik Öğretmenliği Bölümü'nü kazandı ve buradan 2002 yılında mezun oldu. Mezuniyetini müteakiben yine aynı üniversite ve aynı bölümün yüksek lisans sınavlarını kazanarak 2003 yılında Fen Bilimleri Enstitüsüne kayıt yaptırdı. Halen Elektrik Öğretmenliği Anabilimdalı öğrencisi olup bitirme aşamasına gelmiştir.

