

**ALÇAK GERİLİM TRANSFORMATÖR YAZILIMI**

**HÜSAMETTİN R. SARUHAN**

**YÜKSEK LİSANS TEZİ  
ELEKTRİK ELEKTRONİK MÜHENDİSLİĞİ**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ  
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ŞUBAT 2010  
ANKARA**

Hüsamettin SARUHAN tarafından hazırlanan ALÇAK GERİLİM TRANSFORMATÖR TASARIM YAZILIMI adlı bu tezin Yüksek Lisans tezi olarak uygun olduğunu onaylarım.

Yrd. Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR

.....

Tez Danışmanı, Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı

Bu çalışma, jürimiz tarafından oy birliği ile Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalında Yüksek Lisans tezi olarak kabul edilmiştir.

Prof. Dr. Ömer Faruk BAY

.....

Elektronik Eğitimi Anabilim Dalı, G. Ü.

Yrd. Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR

.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Doç. Dr. Erkan AFACAN

.....

Elektrik-Elektronik Mühendisliği Anabilim Dalı, G. Ü.

Tarih: 26/02/2010

Bu tez ile G.Ü. Fen Bilimleri Enstitüsü Yönetim Kurulu Yüksek Lisans derecesini onamıştır.

Prof. Dr. Bilal TOKLU

.....

Fen Bilimleri Enstitüsü Müdürü

## **TEZ BİLDİRİMİ**

Tez içindeki bütün bilgilerin etik davranış ve akademik kurallar çerçevesinde elde edilerek sunulduğunu, ayrıca tez yazım kurallarına uygun olarak hazırlanan bu çalışmada orijinal olmayan her türlü kaynağa eksiksiz atıf yapıldığını bildiririm.

Hüsamettin R. SARUHAN

**ALÇAK GERİLİM TRANSFORMATÖR TASARIM YAZILIMI**  
**(Yüksek Lisans Tezi)**

**Hüsamettin R. SARUHAN**

**GAZİ ÜNİVERSİTESİ**  
**FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**  
**ŞUBAT 2010**

**ÖZET**

Transformatör tasarımı basit görünümüne karşın karmaşık bir süreçtir. Bu nedenle günümüzde bazıları ticari bazıları da ücretsiz olarak dağıtılan yazılım programları kullanılmaktadır. Ücretsiz olan yazılımlar genellikle çekirdek malzemesi üreticileri tarafından geliştirilmiş olup, bazı parametrelerin girilmesi veya seçilmesi ile çalıştırılırlar.

Tüm transformatör tasarım programları aynı temel tasarım ilkelerini ve formüllerini kullanır. Bu programlar arasındaki fark ise kullanıcıya sunduğu olanaklar ve hesaplamalarda önceden verilen sabitler veya kullanıcıdan istenen girdilerin farklılıklarıdır.

Bu çalışmada, tek ve üç fazlı transformatör tasarımında kullanılabilecek bir yazılım geliştirilmesi amaçlanmıştır. Yazılımın rahat kullanılabilir bir ara yüze ve hızlı ve doğru sonuçlar verebilecek bir algoritmaya sahip olması hedeflenmiştir. Yazılım, DELPHI programlama dili ve Microsoft Office Access Veritabanı programı kullanılarak hazırlanmıştır. Hazırlanan yazılımla örnek tasarımlar yapılmış, bu tasarımlardan bir tanesinden elde edilen sonuçlar kullanılarak transformatör sardırılmış ve elde edilen sonuçlar karşılaştırılmıştır.

**Bilim Kodu : 905.1.038**  
**Anahtar Kelimeler : Güç Transformatörü, Transformatör Tasarım Yazılımı**  
**Sayfa Adedi : 149**  
**Tez Yöneticisi : Yrd. Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR**

**LOW VOLTAGE TRANSFORMER DESIGN SOFTWARE****(M.Sc. Thesis)****Hüsamettin R. SARUHAN****GAZİ UNIVERSITY****INSTITUTE OF SCIENCE AND TECHNOLOGY****FEBRUARY 2010****ABSTRACT**

Transformer design, no matter how easy it looks, is a complicated process. Therefore, several commercial and non-commercial software programs are distributed for transformer design today. Non-commercial ones are usually made available by magnetic cores manufacturers and are used by entering or selecting some specific parameters.

All design programs use the same design principles and equations. The difference between them arises from the opportunities given to the users and constants or data required from the user.

Development of a software program to be used in the design of single phase and three phase transformers is aimed in this thesis. An interface easy to use, and an algorithm to yield quick and accurate results are targeted. DELPHI programming language and Microsoft Office Access Database are used in the software. Sample designs have been carried out by using this software and one of the designs has been carried out. Tests have been performed on the transformer wound accordingly, and results have been compared.

Science Code : 905.1.038

Key Words : Power Transformer, Transformer Design Software

Page Number: 149

Adviser : Assist. Prof. Dr. M. Timur AYDEMİR

## TEŞEKKÜR

Yüksek lisans tezimin hazırlanmasında desteğini esirgemeyen ve yol gösteren değerli Hocam Sn. Yrd. Doç. Dr. M. Timur AYDEMİR'e, yardımlarını esirgemeyen tüm arkadaşlarıma, her zaman yanımda olan eşim Nurgül SARUHAN'a ve Aileme teşekkürlerimi sunarım.

## İÇİNDEKİLER

### Sayfa

|                                                            |      |
|------------------------------------------------------------|------|
| ÖZET.....                                                  | iv   |
| ABSTRACT.....                                              | vi   |
| TEŞEKKÜR.....                                              | vi   |
| İÇİNDEKİLER.....                                           | vii  |
| ÇİZELGELERİN LİSTESİ.....                                  | xii  |
| ŞEKİLLERİN LİSTESİ.....                                    | xiv  |
| SİMGELER VE KISALTMALAR.....                               | xvii |
| 1. GİRİŞ.....                                              | 1    |
| 2. MANYETİK MALZEMELER VE KARAKTERİSTİKLERİ .....          | 2    |
| 2.1. Doyma .....                                           | 2    |
| 2.2. Geçirgenlik ( $\mu$ ) .....                           | 3    |
| 2.3. Histerezis Kayıpları ve Özdirenç ( $\rho$ ).....      | 4    |
| 3. TRANSFORMATÖRLER .....                                  | 7    |
| 3.1 Transformatörlerin Yapısı ve Çeşitleri .....           | 7    |
| 3.1.1. Güç transformatörleri .....                         | 9    |
| 3.1.2. Yalıtım transformatörleri .....                     | 10   |
| 3.1.3. Ses frekans (Audio) transformatörleri .....         | 11   |
| 3.1.4. Yüksek frekans (RF) transformatörleri .....         | 11   |
| 3.1.5. Darbe transformatörleri .....                       | 12   |
| 3.2. Transformatörlerin Çalışma İlkesi .....               | 12   |
| 4. TRANSFORMATÖRLERDE MANYETİK NÜVE .....                  | 14   |
| 4.1. E - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri ..... | 14   |

**Sayfa**

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 4.2. U - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri .....        | 15 |
| 4.3. L - L Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri .....        | 16 |
| 4.4. D - U Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri .....        | 17 |
| 4.5. Üç Faz E - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri ..... | 18 |
| 4.6. Üç Faz C - C Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri ..... | 19 |
| 4.7. Üç Faz E -E Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri .....  | 20 |
| 5. TRANSFORMATÖR PARAMETRELERİ .....                              | 22 |
| 5.1. Pencere Kullanım Faktörü, $K_u$ .....                        | 22 |
| 5.1.1. $S_1$ , Tel yalıtımı .....                                 | 23 |
| 5.1.2. $S_2$ , Dolgu faktörü .....                                | 25 |
| 5.1.3. $S_3$ , Etkin pencere .....                                | 29 |
| 5.1.4. $S_4$ , Yalıtım faktörü .....                              | 33 |
| 5.2.Sargı .....                                                   | 35 |
| 5.3. Ortalama Sarım Uzunluğu Hesaplaması .....                    | 38 |
| 5.4. Bakır Direnci .....                                          | 39 |
| 5.5. Bakır Ağırlığı .....                                         | 39 |
| 5.6. Transformatör Alan Çarpanı (Area Product), $A_p$ .....       | 39 |
| 5.6.1. Transformatör hacmi ve $A_p$ .....                         | 40 |
| 5.6.2. Transformatör ağırlığı ve $A_p$ .....                      | 42 |
| 5.6.3. Transformatör yüzey alanı ve $A_p$ .....                   | 43 |
| 5.7. Transformatör Verimi .....                                   | 44 |
| 5.8. Yüzey Alanı $A_t$ deki Sıcaklık Dağılımı .....               | 45 |
| 5.9. Regülasyon .....                                             | 47 |

## Sayfa

|                                                                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 6. GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ TASARIMI .....                                                                              | 50 |
| 6.1. Çıkış Gücü $P_o$ ve Görünen Güç $P_t$ Kapasitesinin Karşılaştırılması .....                                  | 50 |
| 6.2. Güç Transformatör Düzenleme Kapasitesine (Regülasyon) ile<br>Nüve Geometrisi $K_g$ Arasındaki İlişkisi ..... | 53 |
| 6.3. Transformatör Güç Kullanım Kapasitesi ile $A_p$ İlişkisi .....                                               | 53 |
| 6.4. Güç Transformatörü Tasarım Tüm Parametreleri .....                                                           | 54 |
| 6.5. Üç Fazlı Güç Transformatörü Parametreleri .....                                                              | 58 |
| 6.5.1. Üç fazlı trafo bağlantı çeşitleri .....                                                                    | 58 |
| 6.5.2. Yıldız ve üçgen bağlantı sistemlerinde faz akımı,<br>hat akımı ve gerilimi .....                           | 59 |
| 6.5.3. Çeşitli bağlantı şekillerinde çok fazlı doğrultucu devreler .....                                          | 60 |
| 6.5.4. Üç fazlı transformatör tasarımı tüm parametreleri .....                                                    | 62 |
| 6.6. Transformatör Tasarım Aşamaları ve Tasarım Tabloları .....                                                   | 67 |
| 6.6.1. Transformatör tasarım akış diyagramı .....                                                                 | 67 |
| 6.6.2. Transformatör tasarımı program tasarım tabloları .....                                                     | 69 |
| 7. TRANSFORMATÖR TASARIM HESAPLAMA ÖRNEKLERİ .....                                                                | 74 |
| 7.1. Tek Fazlı EI Laminasyon Hesaplama Örneği .....                                                               | 74 |
| 7.2. Üç Fazlı $\Delta - \Delta$ Tam Köprü Bağlantılı EI Laminasyon<br>Hesaplama Örneği .....                      | 81 |
| 7.3. Tek Fazlı EI Laminasyon Yalıtım Transformatörü Hesaplama Örneği .....                                        | 89 |
| 7.4. Program Aracılığıyla Tasarlanan Transformatörün Laboratuvar Deneyi .....                                     | 96 |
| 7.4.1. Tam yük deneyi sonucu elde edilen veriler .....                                                            | 96 |
| 7.4.2. Boşta deneyi sonucu elde edilen veriler .....                                                              | 97 |
| 7.4.3. Kısa devre deneyi sonucu elde edilen veriler .....                                                         | 97 |

**Sayfa**

|                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------|-----|
| 7.4.4. Sıcaklık değişimi ve dirençler .....                                     | 98  |
| 7.4.5. Transformatör parametre hesapları .....                                  | 98  |
| 8. SONUÇ VE ÖNERİLER .....                                                      | 101 |
| KAYNAKLAR .....                                                                 | 102 |
| EKLER .....                                                                     | 103 |
| EK – 1 Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları .....                      | 104 |
| EK – 2 Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama<br>Ekran Çıktısı Kodları ..... | 131 |
| EK – 3 Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama<br>Ekran Çıktısı Kodları .....  | 136 |
| EK – 4 Transformatör Tasarım Program Ekranları .....                            | 142 |
| ÖZGEÇMİŞ .....                                                                  | 149 |

## ÇİZELGELERİN LİSTESİ

| Çizelge                                                                 | Sayfa |
|-------------------------------------------------------------------------|-------|
| Çizelge 2.1. Çekirdek Kaybı Sabitleri.....                              | 6     |
| Çizelge 4.1. E - I Laminasyon Boyut Verileri.....                       | 15    |
| Çizelge 4.2. E - I Laminasyon Tasarım Verileri .....                    | 15    |
| Çizelge 4.3. U - I Laminasyon Boyut Verileri.....                       | 16    |
| Çizelge 4.4. U - I Laminasyon Tasarım Verileri.....                     | 16    |
| Çizelge 4.5. L - L Laminasyon Boyut Verileri.....                       | 17    |
| Çizelge 4.6. L - L Laminasyon Tasarım Verileri .....                    | 17    |
| Çizelge 4.7. D - U Laminasyon Boyut Verileri.....                       | 18    |
| Çizelge 4.8. D - U Laminasyon Tasarım Verileri .....                    | 18    |
| Çizelge 4.9. Üç Faz E -I Laminasyon Boyut Verileri.....                 | 19    |
| Çizelge 4.10. Üç Faz E - I Laminasyon Tasarım Verileri .....            | 19    |
| Çizelge 4.11. Üç Faz C - C Laminasyon Boyut Verileri.....               | 20    |
| Çizelge 4.12. Üç Faz C -C Laminasyon Tasarım Verileri .....             | 20    |
| Çizelge 4.13. Üç Faz E -E Laminasyon Boyut Verileri.....                | 21    |
| Çizelge 4.14. Üç Faz E - E Laminasyon Tasarım Verileri .....            | 21    |
| Çizelge 5.1. Bakır Kablo Verileri.....                                  | 24    |
| Çizelge 5.2. Yüklenmiş Bakır Kablo Faktörleri.....                      | 25    |
| Çizelge 5.3. Yüklenmiş Rastgele Bakır Kablo Faktörleri.....             | 25    |
| Çizelge 5.4. Marjın Boyutları Tel Büyüklüğüne Göre Değişkenlikleri..... | 30    |
| Çizelge 5.5. Çeşitli AWG Ölçülerindeki Tel Çapları.....                 | 30    |
| Çizelge 5.6. Transformör İçin Kullanılabilecek Sargı Malzemeleri.....   | 34    |
| Çizelge 5.7. Transformör İçin Kullanılabilecek Tel Tablosu.....         | 35    |

| <b>Çizelge</b>                                                             | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Çizelge 5.8. Çekirdek Yapısına Göre Kv Sabiti.....                         | 41           |
| Çizelge 5.9. Çekirdek Yapısına Göre Kw Sabiti.....                         | 43           |
| Çizelge 5.10. Yüzey Alanına Göre Ks Sabiti.....                            | 44           |
| Çizelge 6.1. Manyetik Malzemeler.....                                      | 50           |
| Çizelge 6.2. Doğrultucu Devreler İçin Üç Faz Gerilim ve Akım Oranları..... | 62           |
| Çizelge 7.1. Tam Yük Deneyi Laboratuvar Sonuçları.....                     | 97           |
| Çizelge 7.2. Boşta Çalışma Deneyi Laboratuvar Sonuçları.....               | 97           |
| Çizelge 7.3. Kısa Devre Deneyi Laboratuvar Sonuçları.....                  | 97           |
| Çizelge 7.4 Sonuçların Karşılaştırılması.....                              | 100          |

## ŞEKİLLERİN LİSTESİ

| Şekil                                                                       | Sayfa |
|-----------------------------------------------------------------------------|-------|
| Şekil 2.1. Histeresis veya B-H Çevrimi ve Doyma Noktası.....                | 3     |
| Şekil 2.2. Akı Yoğunluğunun Ve Geçirgenliğin Alan Şiddeti İle İlişkisi..... | 4     |
| Şekil 2.3. Çeşitli Frekanslardaki Çekirdek Kaybı Grafiği.....               | 5     |
| Şekil 3.1. Düşüren Tip Transformatör.....                                   | 9     |
| Şekil 3.2. Yükselten Tip Transformatör.....                                 | 10    |
| Şekil 3.3. Transformatörün Genel Yapısı.....                                | 12    |
| Şekil 4.1. Genel Olarak Kullanılan Laminasyon Şekilleri.....                | 14    |
| Şekil 4.2. E - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                        | 15    |
| Şekil 4.3. U - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                        | 16    |
| Şekil 4.4. L - L Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                        | 17    |
| Şekil 4.5. D - U Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                        | 18    |
| Şekil 4.6. Üç Faz E - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                 | 19    |
| Şekil 4.7. Üç Faz C- C Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                  | 20    |
| Şekil 4.8. Üç Faz E -E Laminasyon ve Karkas Şekilleri.....                  | 21    |
| Şekil 5.1. Bakır İle Doldurulmuş Pencere Alanı.....                         | 22    |
| Şekil 5.2. Çeşitli AWG Ölçülerindeki Tel Dolumları.....                     | 24    |
| Şekil 5.3. Birim Uzunluk oranı.....                                         | 26    |
| Şekil 5.4. Kare Sarım Şeklinin Teorik Dolgu Faktörü 0.785.....              | 26    |
| Şekil 5.5. 0.907 Altıgen Sarım Şekli Kullanılarak Yapılan Sarım.....        | 27    |
| Şekil 5.6. Kare Bobin Üzerindeki İdeal Sarım.....                           | 28    |
| Şekil 5.7. Transformatör Sarımlarındaki Eğilim Miktarı.....                 | 28    |
| Şekil 5.8. Yuvarlak Bobin ve Sağladığı Sıkıştırılmış Tasarım.....           | 29    |

| <b>Şekil</b>                                                                                                               | <b>Sayfa</b> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 5.9. Marjınlı Transformatör Sarımı.....                                                                              | 30           |
| Şekil 5.10. Tekli Bobin Tasarımı.....                                                                                      | 31           |
| Şekil 5.11. İki Tane Bobin Ayarı; Şerit C Merkezleri İçin.....                                                             | 32           |
| Şekil 5.12. Etkin Pencere Alanı.....                                                                                       | 32           |
| Şekil 5.13. İç Dış Yalıtım Birikimi.....                                                                                   | 34           |
| Şekil 5.14. AWG Ölçüm Tablası.....                                                                                         | 37           |
| Şekil 5.15. Ortalama Sarım Uzunluğu İle İlgili Sarım Boyutları .....                                                       | 38           |
| Şekil 5.16. Pencere Alanı $W_a$ , ve Çekirdek Alanı $A_c$ .....                                                            | 39           |
| Şekil 5.17. Bant Sargı Toroidal Çekirdek Hacmi.....                                                                        | 41           |
| Şekil 5.18. EI Tipi Bir Çekirdeğin Hacmi.....                                                                              | 41           |
| Şekil 5.19. EI Tipi Bir Çekirdeğin Yüzey Ölçümleri.....                                                                    | 44           |
| Şekil 5.20. 25 <sup>0</sup> C ve 50 <sup>0</sup> C deki Sıcaklık Değişimine Göre Yüzey Alan ile<br>Toplam Kayıp Oranı..... | 46           |
| Şekil 5.21. Son Sıcaklık.....                                                                                              | 46           |
| Şekil 5.22. Transformatör Sıcaklık Yükselme Zamanı.....                                                                    | 47           |
| Şekil 5.23. Transformatör Devre Diyagramı.....                                                                             | 47           |
| Şekil 6.1. Üç Fazlı Transformatör İçin Yıldız (Y) Bağlantı.....                                                            | 58           |
| Şekil 6.2. Üç Fazlı Transformatör İçin Üçgen Bağlantı.....                                                                 | 58           |
| Şekil 6.3. Üç Fazlı Transformatörün Kesit Görüntüsü.....                                                                   | 59           |
| Şekil 6.4. Üç Fazlı Transformatör Üçgen Bağlantı<br>Akım ve Gerilim Diyagramı.....                                         | 59           |
| Şekil 6.5. Üç Fazlı Transformatör Yıldız Bağlantı<br>Akım ve Gerilim Diyagramı.....                                        | 60           |
| Şekil 6.6. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Üçgen Tam Köprü.....                                                               | 60           |

| <b>Şekil</b>                                                            | <b>Sayfa</b> |
|-------------------------------------------------------------------------|--------------|
| Şekil 6.7. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız Tam Köprü.....           | 61           |
| Şekil 6.8. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız Yarı Köprü.....          | 61           |
| Şekil 6.9. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız 6 Faz Yıldız.....        | 61           |
| Şekil 6.10. Transformatör Tasarım Diyagramı.....                        | 68           |
| Şekil 6.11. Transformatör Tasarım Ana Ekranı.....                       | 69           |
| Şekil 6.12. Tek Fazlı Transformatör Tasarım Hesaplama Ana Ekranı.....   | 70           |
| Şekil 6.13. Tek Fazlı Transformatör Sabitleri Ekranı.....               | 70           |
| Şekil 6.14. Tek Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı.....         | 71           |
| Şekil 6.15. Üç Fazlı Transformatör Tasarım Hesaplama Ana Ekranı.....    | 72           |
| Şekil 6.16. Üç Fazlı Transformatör Sabitleri Ekranı.....                | 72           |
| Şekil 6.17. Üç Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı.....          | 73           |
| Şekil 7.1. Tek Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı .....         | 81           |
| Şekil 7.2. Üç Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı .....          | 89           |
| Şekil 7.3. Tek Fazlı Yalıtım Transformatörü Hesaplama Sonuç Ekranı..... | 96           |
| Şekil 7.4 Transformatör Eşdeğer Devre Şeması.....                       | 98           |

## SİMGELER VE KISALTMALAR

Bu çalışmada kullanılmış bazı simgeler ve kısaltmalar, açıklamaları ile birlikte aşağıda sunulmuştur.

| Simgeler                  | Açıklama                                    |
|---------------------------|---------------------------------------------|
| <b>AC</b>                 | Alternatif akım(Alternative current)        |
| <b>DC</b>                 | Doğru Akım                                  |
| <b>A<sub>wB</sub></b>     | Kazanç bölgesi(Wire area)                   |
| <b>A<sub>wpB</sub></b>    | Primer sargı bölgesi(Primary wire area)     |
| <b>A<sub>cu</sub></b>     | Bakır iletkenin kesit alanı                 |
| <b>A<sub>wsB</sub></b>    | Sekonder sargı bölgesi(Secondary wire area) |
| <b>A<sub>Cu,pri</sub></b> | Primer iletken yarı kesit alanı             |
| <b>A<sub>pri</sub></b>    | Primer iletken alanı                        |
| <b>A<sub>sek</sub></b>    | Sekonder iletken alanı                      |
| <b>A<sub>w</sub></b>      | Toplam sargı alanı                          |
| <b>A<sub>pri,,w</sub></b> | Primer sargı alanı                          |
| <b>A<sub>sek,w</sub></b>  | Sekonder sargı alanı                        |
| <b>A<sub>Cu,pri</sub></b> | Primer iletken için gerekli alan            |
| <b>A<sub>Cu,sek</sub></b> | Sekonder iletken için gerekli alan          |
| <b>B<sub>r</sub></b>      | Kalıcı mıknatıslık(Retentivity)             |
| <b>B</b>                  | Akı yoğunluğu(Flux)                         |
| <b>f</b>                  | Frekans(Frequency)                          |
| <b>V</b>                  | Voltaaj                                     |
| <b>I</b>                  | Akım                                        |
| <b>ρ</b>                  | Özdirenç                                    |
| <b>ψ</b>                  | Birim Alana Düşen Kayıp                     |
| <b>α</b>                  | Regülasyon                                  |
| <b>η</b>                  | Verim                                       |
| <b>R</b>                  | Direnç                                      |

| <b>Simgeler</b> | <b>Açıklama</b>                             |
|-----------------|---------------------------------------------|
| $P_{fe}$        | Toplam Demir Kaybı                          |
| $W_a$           | Pencere Bölgesi                             |
| $A_p$           | Üretim Alanı (Area Product)                 |
| $K_g$           | Nüve Geometrisi                             |
| $K_e$           | Elektriksel Durum                           |
| $K_u$           | Pencere Kullanım Sabiti                     |
| $W_{tfe}$       | Toplam Demir Ağırlığı                       |
| $W_{tcu}$       | Toplam Bakır Ağırlığı                       |
| $T_r$           | Sıcaklık                                    |
| <b>AWG</b>      | Amerikan Kablo Değeri                       |
| <b>J</b>        | İletkendeki akım yoğunluğu(Current density) |
| <b>N</b>        | Sargı penceresindeki toplam sarım sayısı    |
| $P_i$           | Giriş Gücü                                  |
| $P_0$           | Çıkış Gücü                                  |
| $P_{cu}$        | Toplam Bakır Kaybı                          |
| $H_c$           | Zorlayan kuvvet(Coercive power)             |

## 1. GİRİŞ

Transformatörler elektrik güç sistemlerinin ayrılmaz bir parçasıdır. Enerji sistemlerindeki rolüne ek olarak, transformatörler elektrikle çalışan bir çok aracın da tamamlayıcı elemanlarıdır. Günümüz teknolojisi gereği transformatörler haberleşme, tıbbi cihazlar, otomotiv endüstrisi, bilgisayar teknolojisi gibi bir çok alanda kullanılmaktadır.

Transformatörlerin çalışma ilkeleri oldukça basit olup, tasarımları da bu nedenle kolay gibi görünür. Ancak, pratikte durum farklıdır ve transformatör tasarımı pek çok ampirik işlem içerir. Transformatör tasarımı, çekirdek malzemesi ve şekli seçimi, sarım hesapları, iletken seçimleri, sargı yerleştirme biçimleri gibi temel aşamaları içerir. Kayıp ve verim hesapları, soğutma yöntemine karar verilmesi gibi aşamalarla tasarım tamamlanır.

Transformatör tasarımında bilgisayarlardan destek alınması tasarım sürecini çok hızlandırır. Günümüzde bu amaçla geliştirilmiş ticari olan veya olmayan pek çok paket program mevcuttur. Doğal olarak da bu programlar birbirine karşı bazı üstünlüklere sahiptir. Tüm transformatör tasarım programları aynı temel tasarım ilkelerini ve formüllerini kullanır. Bu programlar arasındaki fark ise kullanıcıya sunduğu imkanlar ve hesaplamalarda önceden verilen sabitler veya kullanıcıdan istenen girdilerin farklılıklarıdır.

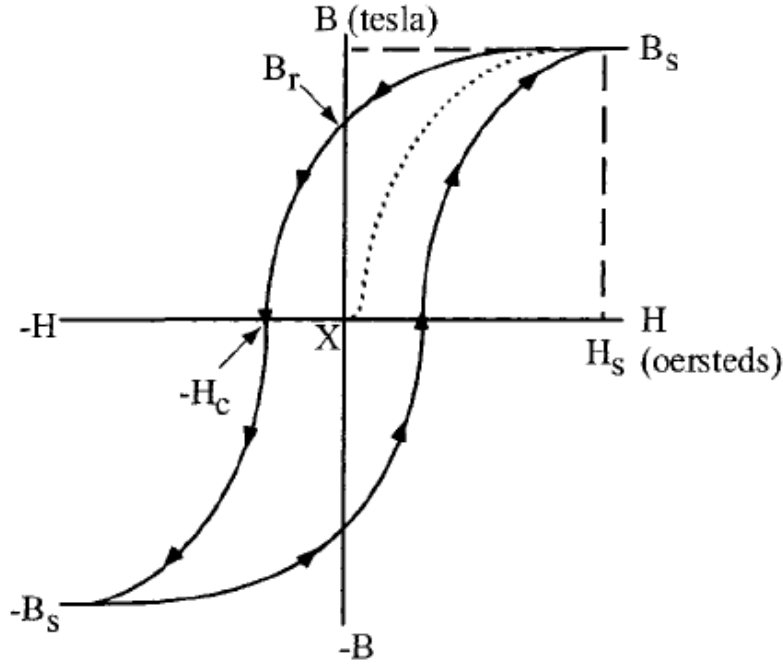
Bu tez çalışmasında tek fazlı ve üç fazlı alçak gerilim güç transformatörü tasarımında kullanılabilecek, basit, hızlı ve anlaşılır bir şekilde sonuç parametreleri verecek bir arayüz programı tasarlanmıştır. Güç transformatörü tasarımı arayüz programı DELPHI programlama dili ve Microsoft Office Access Veritabanı programı sayesinde hazırlanmıştır. Esnek ve çok yönlü olarak tasarlanmış olan programda kullanıcı hedefli bir uygulama ortaya konulmaya çalışılmıştır.

## 2. MANYETİK MALZEMELER VE KARAKTERİSTİKLERİ

Manyetik bileşenlerin tasarımında en önemli bileşen manyetik malzemelerdir. Bir normal tasarım çalışmasında ele alınabilecek üç standart başlık vardır. Bunlar maliyet hesabı, boyut ve performanstır. Günümüzde transformatör tasarımında kullanılan manyetik malzemeler silisli çelik, mıknatıslanma oranı yüksek demir – nikel alaşımları (permalloy), kobalt demir (permendur), amorfler ve ferritlerdir. Bu grup manyetik malzemelerde karşımıza çıkan manyetik özellikler doyma ( $B_s$ ), manyetik geçirgenlik ( $\mu$ ), öz direnç ( $\rho$ ), kalıcı mıknatıslanma ( $B_r$ ) ve zorlayıcı veya giderici kuvvet ( $H_c$ )'tir.

### 2.1. Doyma

Manyetik malzemeler için tipik bir histerezis çevrimi Şekil 2.1'de gösterilmiştir. Başlangıçta manyetik kuvvetteki az bir değişiklik akıda büyük bir değişikliğe sebebiyet verir. Belirli bir değere ulaştıktan sonra akı değerinde bir değişme gözlenmez. Bu noktadaki  $H$ 'deki artış  $B$ 'deki artışa ya çok az ya da hiç artış sağlamayacaktır. İşte bu nokta kullanılan malzemenin doyma noktası veya saturasyon noktası olarak bilinir. Bunun manası da kullanılan malzeme doyuma ulaştığında indüktans değeri çok küçüktür. Şekil 2.1'de saturasyon akı yoğunluğu  $B_s$ , ve gerekli manyetik kuvvet  $H_s$ , kesik çizgilerle belirtilmiştir.



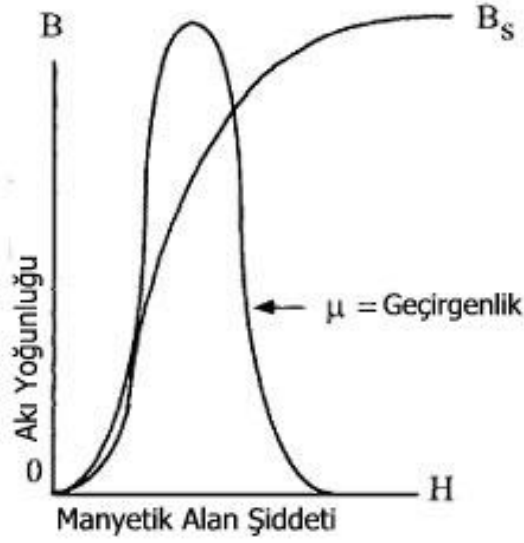
Şekil 2.1. Histerezis veya B-H Çevrimi ve Doyma Noktası

Şekil 2.1'deki histerezis çevriminin kalıcı mıknatıslanma akı yoğunluğu  $B_r$  ile gösterilmektedir. Kalıcı mıknatıslanma, uyarı kaldırıldıktan sonra çekirdekte kalan akı yoğunluğudur. Manyetik kuvvet  $H_c$  kalıcı mıknatıslanmayı giderici kuvvet olarak bilinir.

## 2.2. Geçirgenlik ( $\mu$ )

Manyetik geçirgenlik, malzemenin akıyı iletme yeteneğidir. Belli bir akı yoğunluğundaki manyetik geçirgenliğin değeri, bu noktadaki mıknatıslanmanın bir ölçütüdür. Ferromanyetik malzemelerde H alan şiddetindeki küçük bir değişim, B manyetik akı yoğunluğunda büyük bir değişikliğe sebep olur. Manyetik geçirgenlik manyetik akı yoğunluğu H'nin belirli bir değerine kadar sabit kalırken bu noktadan sonra doğrusallıktan ayrılır; yani B – H eğrisi doğrusal değildir.

$$\mu = \frac{B}{H} \quad (2.1)$$



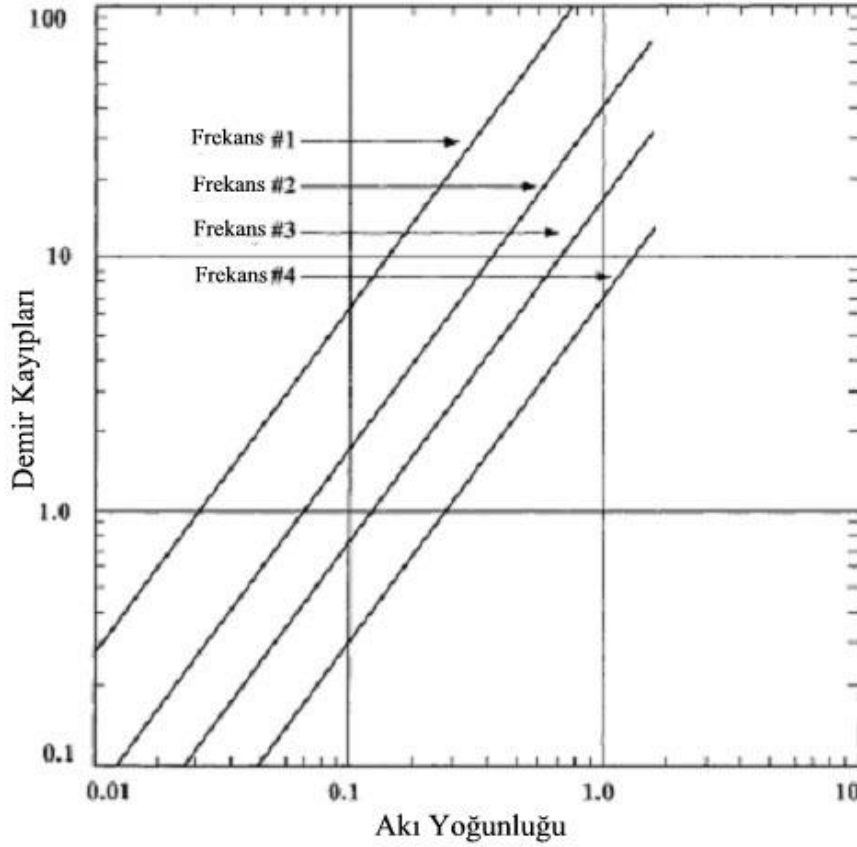
Şekil 2.2. Akı Yoğunluğunun ve Geçirgenliğin Alan Şiddeti İle İlişkisi

### 2.3. Histerezis Kayıpları ve Özdirenç ( $\rho$ )

Şekil 2.1'deki histerezis çevriminin içerisinde kalan alan çekirdek malzemesindeki enerji kayıplarının bir ölçüsüdür. Bu kayıplar iki başlıkta toplanabilir. Bunlar histerezis akımı kayıpları ve girdap akımı kayıplarıdır. Histerezis kayıpları, bir tam manyetik döngü boyunca malzemenin manyetik dipollerinin yönelimini sağlayabilmek için harcanan enerjiyi gösterir. Girdap akımı kayıpları ise, değişken bir manyetik alan nedeniyle akı çizgilerine dik yönde dolaşan elektriksel akımlar nedeniyle çekirdek malzemesinde oluşan elektriksel kayıplardır. Eğer çekirdeğin elektriksel direnci yüksek ise bu akım düşük olacaktır. Normalde manyetik bir yapı tasarlarken çekirdek kayıpları büyük bir tasarım faktörüdür. Çekirdek kayıpları malzemenin türü ve kalınlığı doğru seçilerek azaltılabilir.

Transformatör tasarımında özellikle kullanılan manyetik malzemelerin elektriksel ve manyetik özellikleri bilinmeli ve göz önüne alınmalıdır. AA ve DA akımlar manyetik özelliklerini ilgilendiren iki husustur. DA B-H histerezis çevrimi çeşitli tipteki manyetik malzemeleri karşılaştırmak için kullanışlı bir rehber görevini görür. AA özelliklerden en önemlisi çekirdek kayıplarıdır ki bu transformatör tasarımı için göz önünde bulundurulması gerekli önemli bir durumdur. AA çekirdek kayıpları,

manyetik malzemenin, manyetik malzeme kalınlığının, manyetik akı yoğunluğunun ( $B_{ac}$ ), frekansın ( $f$ ) ve sıcaklığının bir fonksiyonudur. Çeşitli frekanslardaki tipik çekirdek kaybı grafiği Şekil 2.3’de gösterilmiştir. Dikey eksen çekirdek kaybını, yatay eksen ise akı yoğunluğunu göstermektedir.



Şekil 2.3. Çeşitli Frekanslardaki Çekirdek Kaybı Grafiği

Çekirdek kaybı aşağıdaki gibi bir eşitlikle ifade edilebilir.

$$P_a (W / kg) = k f^{(m)} B^{(n)} \quad (2.2)$$

Burada  $k, m, n$  Çizelge 2.1’de de gösterilen malzemedan malzemeye değişiklik gösteren sabitlerdir. Bu denklem kısıtlı bir frekans aralığında ve malzemeye bağlı olan akı yoğunluğu aralığında geçerlidir.

Çizelge 2.1. Çekirdek Kaybı Sabitleri

| Çekirdek Kaybı Eşitlik Faktörü |          |                 |           |          |          |
|--------------------------------|----------|-----------------|-----------|----------|----------|
| Malzeme                        | Kalınlık | Frekans Aralığı | k Sabiti  | m sabiti | n Sabiti |
| 50 / 50 Ni - Fe                | 1,00     |                 | 0,0028100 | 1,210    | 1,380    |
|                                | 2,00     |                 | 0,0005590 | 1,410    | 1,270    |
|                                | 4,00     |                 | 0,0006180 | 1,480    | 1,440    |
| Supermendur                    | 2,00     | 400 Hz,         | 0,0236000 | 1,050    | 1,300    |
|                                | 4,00     |                 | 0,0056400 | 1,270    | 1,360    |
| Permally 80                    | 1,00     |                 | 0,0000774 | 1,050    | 1,800    |
|                                | 2,00     |                 | 0,0001650 | 1,410    | 1,770    |
|                                | 4,00     |                 | 0,0002410 | 1,540    | 1,990    |
| Supermalloy                    | 1,00     |                 | 0,0002460 | 1,350    | 1,910    |
|                                | 2,00     |                 | 0,0001790 | 1,480    | 2,150    |
|                                | 4,00     |                 | 0,0000936 | 1,660    | 2,060    |
| Silikon                        | 1,00     | 50 -60 Hz,      | 0,0593000 | 0,993    | 1,740    |
|                                | 2,00     |                 | 0,0059700 | 1,260    | 1,730    |
|                                | 4,00     |                 | 0,0035700 | 1,320    | 1,710    |
|                                | 12,00    |                 | 0,0014900 | 1,550    | 1,870    |
|                                | 14,00    |                 | 0,0005570 | 1,680    | 1,860    |
|                                |          |                 |           |          |          |

Bu tez kapsamında yapılan tasarımda 14 mil kalınlığa karşılık gelen malzeme kullanıldığı için Eş 2.2’de  $k = 0,000557$ ,  $m = 1,680$  ve  $n = 1,860$  olarak alınmıştır.

### 3. TRANSFORMATÖRLER

Elektrik sistemlerinin önemli elemanlarından biri olan transformatörler hareketli veya döner kısımları olmadığı için basit bir yapıya sahiptir. Elektrik enerjisini en az kayıplarla istenilen uzaklıklara iletmek ve hat kapasitesini yükseltmek için üretilen gerilim seviyesinin daha yüksek değerlere arttırılabilmesi için transformatörlere gerek vardır. Dağıtım ve kullanım aşamalarında, iletilen yüksek gerilimin yeniden düşük seviyeye indirgenmesi için de transformatörlere ihtiyaç vardır.

Transformatörler, alternatif akım elektrik gücünü bir gerilim değerinden başka bir gerilim değerine değiştirir ve bunu manyetik indüksiyon yoluyla yapar. Bir transformatör bir ferromanyetik çekirdeğe sarılmış iki veya daha fazla sargıdan oluşur. Transformatör sargısının birisi alternatif akım güç kaynağına bağlanırken diğer sargı yüklere alternatif akım gücü sağlamak üzere bağlanır. Elektrik güç kaynağına bağlanan sargıya primer sargı veya giriş sargısı, yüklere bağlanan sargıya ise sekonder sargı veya çıkış sargısı denir. Transformatörlerin en iç kısmında hava veya demir dolgulu olmak üzere primer ve sekondere ait tellerin sarıldığı çekirdek bulunur. Transformatörler hava çekirdekli veya demir çekirdekli olarak üretilirler.

#### 3.1. Transformatörlerin Yapısı ve Çeşitleri

Belirlenen amaçlara göre transformatörler;

Manyetik Çekirdek Şekillerine Göre

1. Matel Tipi
2. Çekirdek Tipi
3. Dağılmış Tip
4. Spikore Tip

Sargı Tipine Göre

1. Silindirik Sargı
2. Dilimli Sargı

#### Sargı Şekline Göre

1. Yalıtılmış İki Sargılı Normal Transformatör
2. Ototransformatörler

#### Faz Sayısına Göre

1. Bir fazlı Transformatörler
2. Üç Fazlı Transformatörler

#### Kullanım Şekline Göre

1. Güç Transformatörü
  - a. Düşüren Tip Güç Transformatörü
  - b. Yükselten Tip Güç Transformatörü
2. Yalıtım Transformatörü
3. Ses frekans (Ses) Transformatörü
  - a. Giriş Transformatörü
  - b. Çıkış Transformatörü
  - c. Hat Transformatörü
  - d. Kademe Transformatörü
4. Yüksek Frekans (RF) Transformatörü
5. Darbe Transformatörü

olmak üzere sınıflandırılıp incelenebilir.

Transformatörde primer ve sekonder sargıların endüktans değeri sarımları birleştiren manyetik akıya göre değişir. Sarımlar demir çekirdek üzerine yapıldığında primer ve sekonder sargıların oluşturduğu tüm manyetik akılar birleşir. Böylece primer sekondere manyetik alan ile kuplaj edilmiş olur. İyi bir kuplajda primer sargılarının oluşturduğu manyetik alan kuvvet çizgilerinin tamamının sekonder sargıları kesmesi istenir ki bu durumda kuplaj sayısı 1 dir. Manyetik alan çizgilerinin sekondere ulaşmasını sağlamak, yani izlediği yolun geçirgenliğini arttırıp mesafeyi kısaltmak amacıyla sargılar demir çekirdek üzerine sarılırlar. Ancak sızma nedeniyle hiçbir zaman kuplaj sayısı 1 olmaz.

Değişen manyetik alana bağlı olarak transformatörün çekirdeği üzerinde istenmeyen gerilim endüklemeleri meydana gelir. Bu gerilim endüklenmesine fuko denir ve bunlar istenmeyen fuko (girdap) akımlarını oluştururlar. Bunun yanı sıra transformatöre gerilim uygulandığında manyetik alan kuvvetlerinin etkisinden dolayı demir çekirdek üzerinde mıknatıslanma meydana gelir. Transformatörde oluşan manyetik akı yoğunluğunun mıknatıslayıcı kuvvetin geride kalmasından oluşan güç kaybına histerezis kayıpları denir.

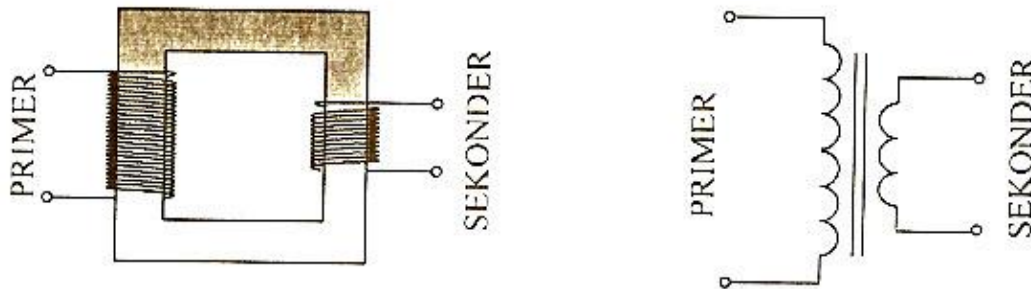
Transformatörler genel olarak üç amaç için imal edilirler.

1. Güç kaynaklarında farklı gerilim değerleri elde etmek için primer gerilimine göre sekonder gerilimini azaltıp yükseltmek;
2. Empedans uygunluğunu sağlamak
3. Aynı güç hattına bağlı şaseleri ortak birden fazla devreyi ters bağlantı durumunda oluşabilecek kısa devreden korumak.

### 3.1.1. Güç transformatörleri

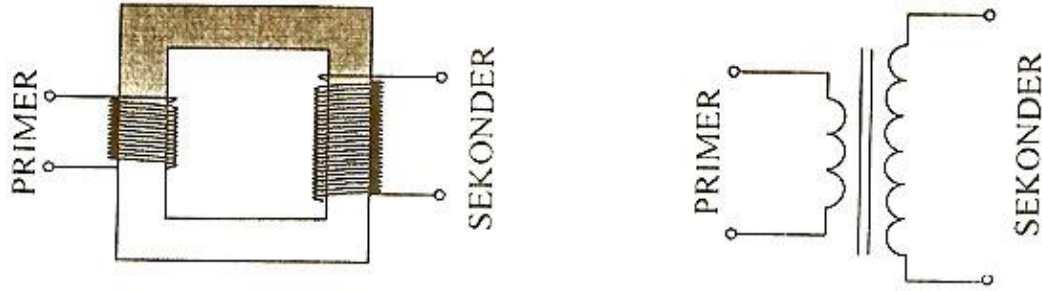
Kendi içinde düşüren ve yükselten tip olmak üzere ikiye ayrılır. Bu tip transformatörler genellikle güç kaynaklarında kullanılan ve giriş gerilimini düşürüp yükselten transformatörlerdir.

Primere uygulanan AA gerilimin sekonderden düşürülmüş olarak elde edilmesini sağlayan transformatörlere düşüren tip transformatörler denir. Bu tip transformatörlerin primer sargısı ince kesitli telli ve çok sarımlı iken sekonder sargısı kalın kesitli ve az sarımlı olarak imal edilirler.



Şekil 3.1. Düşüren Tip Transformatör

Primere uygulanan AA gerilimin sekonderden yükseltilmiş olarak elde edilmesini sağlayan transformatörlere yükselten tip transformatörler denir. Bu tip transformatörlerin primer sargısı kalın kesitli telli ve az sarımlı iken sekonder sargısı ince kesitli ve çok sarımlı olarak imal edilirler.



Şekil 3.2. Yükselten Tip Transformatör

### 3.1.2. Yalıtım transformatörleri

Sekonder tarafını primer tarafından elektriksel olarak yalıtın ve genellikle primer ve sekonder sarım sayıları aynı olan koruma amaçlı transformatörlere yalıtım transformatörleri denir. Aynı güç hattına bağlı farklı iki elektronik cihaz ortak şase kullanılmak durumunda kalındığında şaseler arasında meydana gelebilecek ters bağlantının önüne geçmek için yalıtım transformatörleri kullanılır.

Yalıtım transformatörleri ölçü aletleri içerisinde ölçü aletini yüksek akım ve geriliminden korumak amacıyla da kullanılır. Ölçü aletinde kullanılan yalıtım transformatörü gerilimi düşürmek için kullanılıyorsa gerilim transformatörü, akımı düşürmek için kullanılıyorsa akım transformatörü olarak adlandırılırlar. Gerilim transformatörleri primer sargısı çok sekonder sargısı az olduğundan alçaltan tip, akım transformatörleri ise primer sargısı az sekonder sargısı çok olduğundan yükselten tip transformatör yapısına sahiptirler.

### 3.1.3. Ses frekans (Audio) transformatörleri

Ses frekans transformatörleri empedans uygunluğu sağlayan transformatörlerdir. Genellikle ses frekans yükselteç devrelerinde katlar arası veya mikrofon ve hoparlörlere empedans uygunluğunu sağlamak amacıyla kullanılırlar. Ses frekans transformatörleri sadece 20Hz – 20KHz aralığındaki ses frekans sinyallerini geçirirler.

Ses frekans transformatörleri işaret gerilimini ve kullanıldıkları devrelerin empedansını azaltıp arttırırlar. AA akım geçişine izin verirken DA'yı engeller. Ses devresini elektriksel olarak diğerlerinden ayırır ve mikrofon çıkışında oluşabilecek dengesiz ve çok yönlü sinyalleri dengeler.

Ses frekans transformatörleri ile empedans uygunluğu sağlamak amacıyla giriş, çıkış, hat ve kademe olmak üzere dört çeşit transformatör kullanılır.

### 3.1.4. Yüksek frekans (RF) transformatörleri

Yükse frekans transformatörleri, ses frekans düzeyinin üst sınırı olan 20 kHz'in üzerindeki frekanslarda çalışırlar. Yüksek frekanslarda çalışan demir çekirdekli transformatörlerde histerezis ve girdap kayıpları çok fazla olur. Bu nedenle yüksek frekans transformatörleri hava çekirdekli olarak imal edilirler. Bu transformatörler genel olarak radyo frekans alıcı ve vericilerinde iki rezonans kat arasında enerji transferi için kullanılırlar.

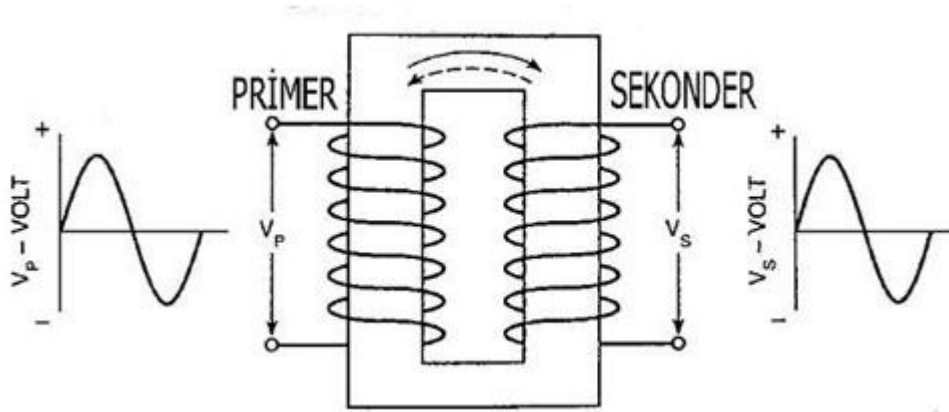
Yüksek frekans transformatörlerinde primer ve sekonder sarım sayılarına göre akım, gerilim ve empedans eşitlikleri demir çekirdekli transformatörlerde olduğu gibi hesaplanamaz. Çünkü bu transformatörler düşük kuplajlıdır (kuplaj katsayısı yaklaşık olarak 0.65) ve primer – sekonder arası büyük kaçak endüktif reaktans oluşur. Yüksek frekans transformatörleri sekondere, primere veya her iki sargıya da paralel bir kondansatör bağlanmak suretiyle rezonans devreleri oluşturulması esasına göre çalışırlar. Rezonans devresi oluşturulan bir yüksek frekans transformatörü, yüksek

gerilim kazancı, empedans uygunlaştırma ve az kayıplı güç transferi sağlar.

### 3.1.5. Darbe transformatörleri

Darbe transformatörleri, darbe işaretini gürültüsüz olarak geçiren geniş frekans bantlı transformatörlerdir. Bu tip transformatörler AA / DA çevirici, DA / DA çevirici devrelerinde özellikle tercih edilirler.

### 3.2. Transformatörlerin Çalışma İlkesi



Şekil 3.3. Transformatörün Genel Yapısı

Transformatörler Şekil 3.3’de de gösterildiği gibi primer ve sekonder sargıları ile bu sargıların üzerine sarıldığı demir çekirdekten oluşurlar.

Primer sargılarına uygulanan alternatif gerilim demir çekirdek üzerine sarılı primer sargıları tarafından manyetik bir alan oluşturur. Oluşan manyetik alan sekonder sargılarını keserek sekonderde bir gerilim endüklenmesine sebep olur. Primer ve sekonder arasında doğrudan bir bağlantı olmamasına rağmen manyetik alan ile primerden sekondere bir güç transferi gerçekleştirilmiş olur.

Transformatörün sekonderinde devamlı bir gerilim indüklenmesi oluşabilmesi için manyetik alanın devamlılığı gerekir. Manyetik alan oluşumu için ise değişken bir akım uygulanması şarttır. DA akımda çekirdek üzerinde bir manyetik alan oluşmaz.

Bu nedenle transformatörler alternatif akım prensibine göre çalışırlar.

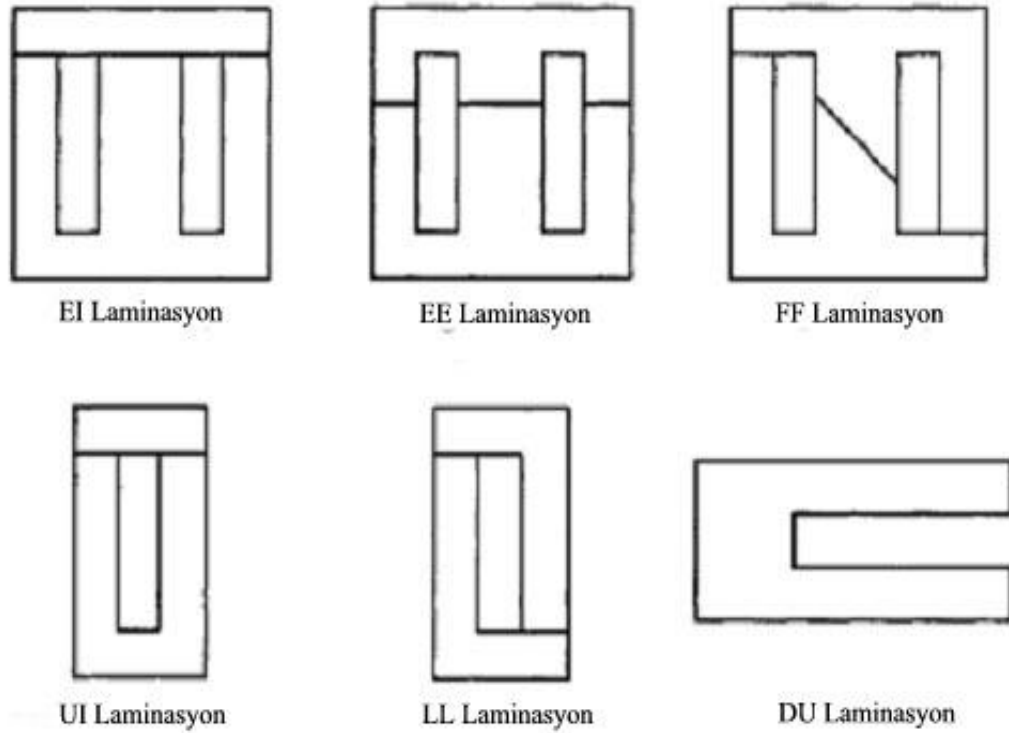
Sekonder tarafında gerilim endüklemesi olabilmesi için mutlak surette manyetik alan kuvvet çizgilerinin sekonder sargılarının üzerinden geçmesi gerekir. Aksi takdirde sekonder sargıları üzerinde bir manyetik alan oluşmaz ve sekonder sargılardan akım geçmez. Bu nedenle transformatörde kullanılan demir çekirdek daha önce de bahsedildiği gibi çok önemlidir. Çünkü çekirdek primer ve sekonder sargıları arasında manyetik alan birleştirici bir etki sağlar.

Sekonder gerilimin büyüklüğü primer uçlarına uygulanan gerilimin büyüklüğü ile doğru orantılıdır. Primere ne kadar fazla gerilim uygulanırsa primer sargılarından geçen akım da o oranda artar ve primer tarafındaki manyetik alan da büyür.

İdeal transformatörlerde verilen güç (primer gücü) ile alınan güç (sekonder gücü) birbirine eşittir. Ancak uygulamada bakır ve çekirdek (histerezis ve girdap kayıpları) kayıplarından dolayı sekonder gücü primer gücünden küçüktür.

#### 4. TRANSFORMATÖRLERDE MANYETİK NÜVE

Transformatörlerde laminasyonlar farklı şekillerde ve ölçütlerde olabilirler. Günümüzde fabrikasyon işleme tabi tutularak levha haline getirilmiş laminasyonlar bu çeşitliliğin artmasına daha da imkan sağlamıştır. Genel olarak transformatörlerde Şekil 4.1 de gösterildiği gibi EI, EE, FF, UI, LL ve DU laminasyonları kullanılır. Bu laminasyonlar birbirlerinden manyetik yol uzunlukları sayesinde ayrılır ve kesilirler. Bu kesimler geçirgenlik (permeability) kaybına da yol açan hava aralıklarına sahiptir. Bu hava aralıklarını en aza indirgeyebilmek için levhalar birbirleriyle sıkı bir şekilde preslenirler.

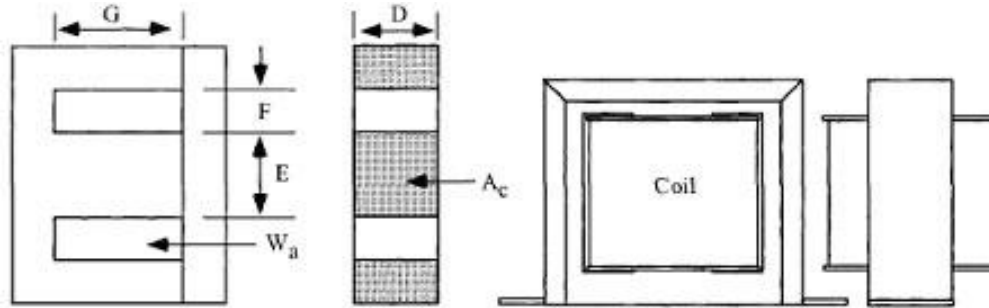


Şekil 4.1. Genel Olarak Kullanılan Laminasyon Şekilleri

##### 4.1. E - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Verileri

Güç çevrimlerinde laminasyonlar hala en çok kullanılan çekirdeklerdir. E - I laminasyon Şekil 4.2 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut

verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.2. E - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.1. E - I Laminasyon Boyut Verileri

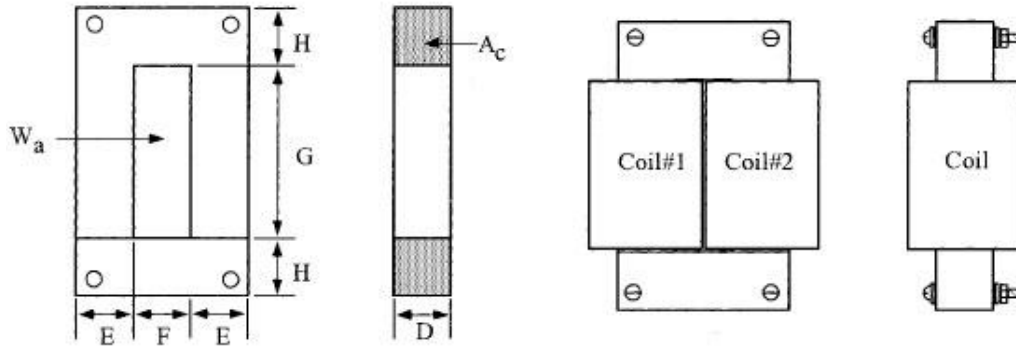
| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| EI-375   | 0.953 | 0.953 | 0.794 | 1.905 | EI-112   | 2.857 | 2.857 | 1.429 | 4.286 |
| EI-021   | 1.270 | 1.270 | 0.794 | 2.064 | EI-125   | 3.175 | 3.175 | 1.588 | 4.763 |
| EI-625   | 1.588 | 1.588 | 0.794 | 2.381 | EI-138   | 3.493 | 3.493 | 1.746 | 5.239 |
| EI-750   | 1.905 | 1.905 | 0.953 | 2.857 | EI-150   | 3.810 | 3.810 | 1.905 | 5.715 |
| EI-875   | 2.223 | 2.223 | 1.111 | 3.333 | EI-175   | 4.445 | 4.445 | 2.223 | 6.668 |
| EI-100   | 2.540 | 2.540 | 1.270 | 3.810 | EI-225   | 5.715 | 5.715 | 2.858 | 8.573 |

Çizelge 4.2. E - I Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | W <sub>scu</sub> grams | W <sub>ffe</sub> grams | MLT cm | MPL cm | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>p</sub> cm <sup>4</sup> | K <sub>s</sub> cm <sup>3</sup> | A <sub>t</sub> cm <sup>2</sup> |
|----------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| EI-375   | 36.1                   | 47.2                   | 6.7    | 7.3    | 1.754                          | 0.862                          | 1.512                          | 1.303                          | 0.067                          | 46.2                           |
| EI-021   | 47.6                   | 94.3                   | 8.2    | 8.3    | 1.075                          | 1.523                          | 1.638                          | 2.510                          | 0.188                          | 62.1                           |
| EI-625   | 63.5                   | 170.0                  | 9.5    | 9.5    | 0.418                          | 2.394                          | 1.890                          | 4.525                          | 0.459                          | 83.2                           |
| EI-750   | 108.8                  | 296.0                  | 11.2   | 11.4   | 0.790                          | 3.448                          | 2.723                          | 9.384                          | 1.153                          | 120.0                          |
| EI-875   | 171.0                  | 457.0                  | 13.0   | 13.3   | 0.789                          | 4.693                          | 3.705                          | 17.384                         | 2.513                          | 163.0                          |
| EI-100   | 254.0                  | 676.0                  | 14.8   | 15.2   | 0.790                          | 6.129                          | 4.839                          | 29.656                         | 4.927                          | 212.9                          |
| EI-112   | 360.0                  | 976.0                  | 16.5   | 17.2   | 0.789                          | 7.757                          | 6.124                          | 47.504                         | 8.920                          | 269.4                          |
| EI-125   | 492.0                  | 1343.0                 | 18.3   | 19.1   | 0.789                          | 9.577                          | 7.560                          | 72.404                         | 15.162                         | 333.0                          |
| EI-138   | 653.0                  | 1786.0                 | 20.1   | 21.0   | 0.789                          | 11.588                         | 9.148                          | 106.006                        | 24.492                         | 403.0                          |
| EI-150   | 853.0                  | 2334.0                 | 22.0   | 22.9   | 0.789                          | 13.790                         | 10.887                         | 150.136                        | 37.579                         | 479.0                          |
| EI-175   | 1348.0                 | 3711.0                 | 25.6   | 26.7   | 0.789                          | 18.770                         | 14.818                         | 278.145                        | 81.656                         | 652.0                          |
| EI-225   | 2844.0                 | 7976.0                 | 32.7   | 34.3   | 0.789                          | 31.028                         | 24.496                         | 760.064                        | 288.936                        | 1078.0                         |

## 4.2. U - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

U - I laminasyon Şekil 4.3 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.3. U - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.3. U - I Laminasyon Boyut Verileri

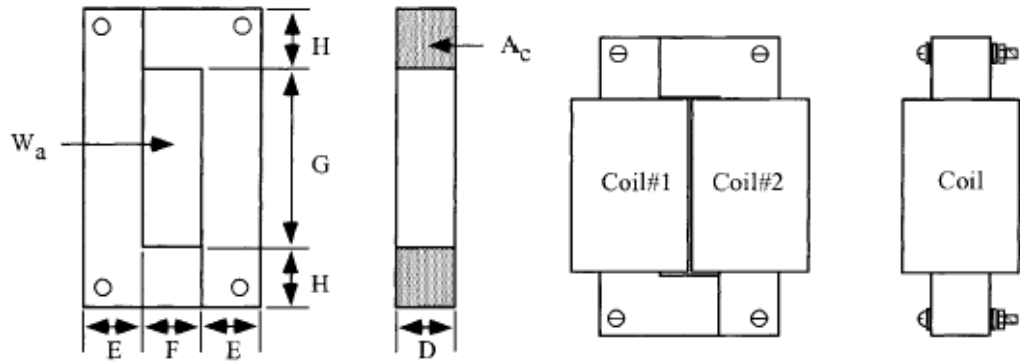
| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | H cm  | Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm   | H cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| 50UI     | 1.270 | 1.270 | 1.270 | 3.810 | 1.270 | 125UI    | 3.175 | 3.175 | 3.175 | 9.525  | 3.175 |
| 60UI     | 1.429 | 1.429 | 2.223 | 5.398 | 1.429 | 150UI    | 3.810 | 3.810 | 3.810 | 11.430 | 3.810 |
| 75UI     | 1.905 | 1.905 | 1.905 | 5.715 | 1.905 | 180UI    | 4.572 | 4.572 | 4.572 | 11.430 | 4.572 |
| 100UI    | 2.540 | 2.540 | 2.540 | 7.620 | 2.540 | 240UI    | 6.096 | 6.096 | 6.096 | 15.240 | 6.096 |

Çizelge 4.4. U - I Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | $W_{icu}$ grams | $W_{tfe}$ grams | MLT cm | MPL cm | $W_a$ cm <sup>2</sup> | $A_c$ cm <sup>2</sup> | $W_a$ cm <sup>2</sup> | $A_p$ cm <sup>4</sup> | $K_\mu$ cm <sup>5</sup> | $A_t$ cm <sup>2</sup> |
|----------|-----------------|-----------------|--------|--------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-------------------------|-----------------------|
| 50UI     | 132             | 173             | 7.68   | 15.24  | 3.159                 | 1.532                 | 4.839                 | 7.414                 | 0.592                   | 110                   |
| 60UI     | 418             | 300             | 9.81   | 18.10  | 6.187                 | 1.939                 | 11.996                | 23.263                | 1.839                   | 209                   |
| 75UI     | 434             | 585             | 11.22  | 22.86  | 3.157                 | 3.448                 | 10.887                | 37.534                | 4.614                   | 247                   |
| 100UI    | 1016            | 1384            | 14.76  | 30.48  | 3.158                 | 6.129                 | 19.355                | 118.626               | 19.709                  | 439                   |
| 125UI    | 1967            | 2725            | 18.29  | 38.10  | 3.158                 | 9.577                 | 30.242                | 289.614               | 60.647                  | 685                   |
| 150UI    | 3413            | 4702            | 22.04  | 45.72  | 3.158                 | 13.790                | 43.548                | 600.544               | 150.318                 | 987                   |
| 180UI    | 4884            | 7491            | 26.28  | 50.29  | 2.632                 | 19.858                | 52.258                | 1037.740              | 313.636                 | 1296                  |
| 240UI    | 11487           | 17692           | 34.77  | 67.06  | 2.632                 | 35.303                | 92.903                | 3279.770              | 1331.997                | 2304                  |

### 4.3. L - L Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

L - L laminasyon Şekil 4.4 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.4. L - L Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.5. L - L Laminasyon Boyut Verileri

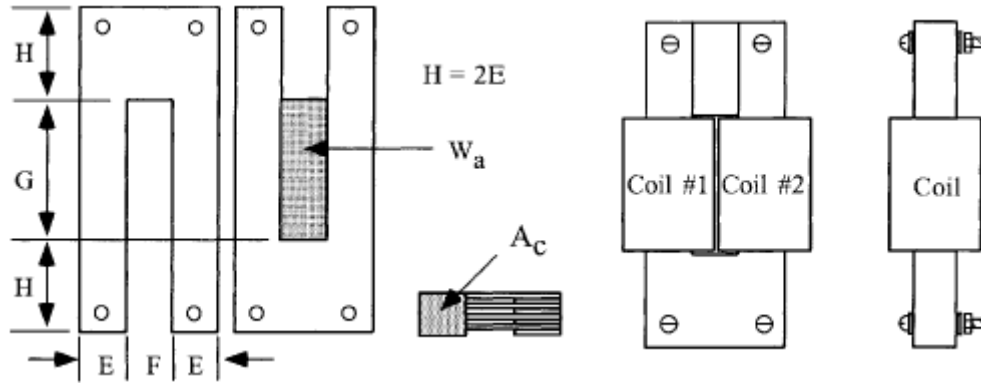
| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | H cm  | Part Number | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | H cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 141L     | 0.635 | 0.635 | 1.270 | 2.858 | 0.635 | 104L        | 1.270 | 1.270 | 1.984 | 5.555 | 1.270 |
| 108L     | 1.031 | 1.031 | 0.874 | 3.334 | 1.111 | 105L        | 1.270 | 1.270 | 1.905 | 6.826 | 1.270 |
| 250L     | 1.031 | 1.031 | 0.874 | 5.239 | 1.111 | 102L        | 1.429 | 1.429 | 1.588 | 5.398 | 1.429 |
| 101L     | 1.111 | 1.111 | 1.588 | 2.858 | 1.111 | 106L        | 1.429 | 1.429 | 2.223 | 5.398 | 1.429 |
| 7L       | 1.270 | 1.270 | 1.270 | 3.810 | 1.270 | 107L        | 1.588 | 1.588 | 2.064 | 6.350 | 1.588 |
| 4L       | 1.270 | 1.270 | 1.905 | 3.810 | 1.270 |             |       |       |       |       |       |

Çizelge 4.6. L - L Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | W <sub>icu</sub> grams | W <sub>ife</sub> grams | MLT cm | MPL cm | W <sub>a</sub> | A <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>p</sub> cm <sup>4</sup> | K <sub>g</sub> cm <sup>5</sup> | A <sub>t</sub> cm <sup>2</sup> |
|----------|------------------------|------------------------|--------|--------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |                        |                        |        |        | A <sub>c</sub> |                                |                                |                                |                                |                                |
| 141L     | 63.8                   | 31.3                   | 4.9    | 10.8   | 9.473          | 0.383                          | 3.629                          | 1.390                          | 0.043                          | 55.2                           |
| 108L     | 61.2                   | 97.9                   | 5.9    | 12.7   | 2.884          | 1.010                          | 2.913                          | 2.943                          | 0.201                          | 70.3                           |
| 250L     | 96.1                   | 127.1                  | 5.9    | 16.5   | 4.532          | 1.010                          | 4.577                          | 4.624                          | 0.316                          | 92.0                           |
| 101L     | 118.5                  | 115.9                  | 7.3    | 13.3   | 3.867          | 1.173                          | 4.536                          | 5.322                          | 0.340                          | 97.3                           |
| 7L       | 132.2                  | 173.9                  | 7.7    | 15.2   | 3.159          | 1.532                          | 4.839                          | 7.414                          | 0.592                          | 109.7                          |
| 4L       | 224.0                  | 185.2                  | 8.7    | 16.5   | 4.737          | 1.532                          | 7.258                          | 11.121                         | 0.785                          | 141.9                          |
| 104L     | 344.9                  | 228.0                  | 8.8    | 20.2   | 7.193          | 1.532                          | 11.020                         | 16.885                         | 1.176                          | 180.2                          |
| 105L     | 401.3                  | 256.5                  | 8.7    | 22.5   | 8.488          | 1.532                          | 13.004                         | 19.925                         | 1.407                          | 199.4                          |
| 102L     | 268.6                  | 284.1                  | 8.8    | 19.7   | 4.419          | 1.939                          | 8.569                          | 16.617                         | 1.462                          | 167.6                          |
| 106L     | 418.6                  | 302.1                  | 9.8    | 21.0   | 6.187          | 1.939                          | 11.996                         | 23.263                         | 1.839                          | 208.8                          |
| 107L     | 475.2                  | 409.5                  | 10.2   | 23.2   | 5.474          | 2.394                          | 13.105                         | 31.375                         | 2.946                          | 235.8                          |

#### 4.4. D - U Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

D - U laminasyon Şekil 4.5 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.5. D - U Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.7. D - U Laminasyon Boyut Verileri

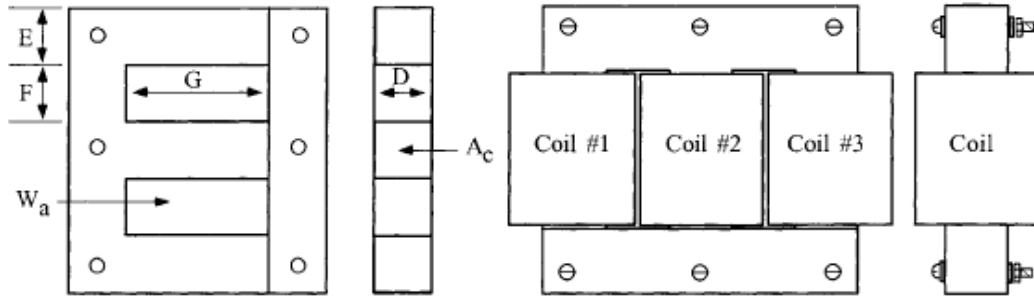
| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | H cm  | Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm   | H cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|-------|
| DU-63    | 0.159 | 0.159 | 0.318 | 0.794 | 0.318 | DU-39    | 0.953 | 0.953 | 0.953 | 2.858  | 1.905 |
| DU-124   | 0.318 | 0.318 | 0.476 | 1.191 | 0.635 | DU-37    | 0.953 | 0.953 | 1.905 | 3.810  | 1.905 |
| DU-18    | 0.476 | 0.476 | 0.635 | 1.588 | 0.953 | DU-50    | 1.270 | 1.270 | 2.540 | 5.080  | 2.540 |
| DU-26    | 0.635 | 0.635 | 0.635 | 1.905 | 1.270 | DU-75    | 1.905 | 1.905 | 3.810 | 7.620  | 3.810 |
| DU-25    | 0.635 | 0.635 | 0.953 | 2.064 | 1.270 | DU-1125  | 2.858 | 2.858 | 5.715 | 11.430 | 5.715 |
| DU-1     | 0.635 | 0.635 | 0.953 | 3.810 | 1.270 | DU-125   | 3.175 | 3.175 | 5.080 | 10.160 | 6.350 |

Çizelge 4.8. D - U Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | W <sub>tcu</sub> grams | W <sub>tfe</sub> grams | MLT cm | MPL cm | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>p</sub> cm <sup>4</sup> | K <sub>g</sub> cm <sup>5</sup> | A <sub>t</sub> cm <sup>2</sup> |
|----------|------------------------|------------------------|--------|--------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
| DU-63    | 1.4                    | 0.6                    | 1.5    | 3.2    | 10.500                         | 0.024                          | 0.252                          | 0.006                          | 0.00003                        | 4.2                            |
| DU-124   | 4.9                    | 4.3                    | 2.4    | 5.2    | 5.906                          | 0.096                          | 0.567                          | 0.054                          | 0.0009                         | 11.8                           |
| DU-18    | 11.9                   | 13.5                   | 3.3    | 7.3    | 4.688                          | 0.215                          | 1.008                          | 0.217                          | 0.0057                         | 23.4                           |
| DU-26    | 17.0                   | 28.9                   | 3.9    | 8.9    | 3.159                          | 0.383                          | 1.210                          | 0.463                          | 0.0180                         | 33.9                           |
| DU-25    | 31.1                   | 30.4                   | 4.4    | 9.9    | 5.133                          | 0.383                          | 1.966                          | 0.753                          | 0.0260                         | 44.3                           |
| DU-1     | 57.3                   | 42.4                   | 4.4    | 13.3   | 9.634                          | 0.383                          | 3.630                          | 1.390                          | 0.0479                         | 60.9                           |
| DU-39    | 55.3                   | 104.5                  | 5.7    | 13.3   | 3.158                          | 0.862                          | 2.722                          | 2.346                          | 0.1416                         | 76.2                           |
| DU-37    | 186.0                  | 124.5                  | 7.2    | 17.2   | 8.420                          | 0.862                          | 7.258                          | 6.256                          | 0.2992                         | 134.3                          |
| DU-50    | 443.9                  | 287.8                  | 9.7    | 22.8   | 8.422                          | 1.532                          | 12.903                         | 19.771                         | 1.2524                         | 238.0                          |
| DU-75    | 1467.0                 | 985.2                  | 14.2   | 34.3   | 8.420                          | 3.448                          | 29.032                         | 100.091                        | 9.7136                         | 537.1                          |
| DU-1125  | 4880.0                 | 3246.0                 | 21.0   | 51.4   | 8.421                          | 7.757                          | 65.322                         | 506.709                        | 74.8302                        | 1208.0                         |
| DU-125   | 3906.0                 | 3966.0                 | 21.3   | 41.4   | 5.389                          | 9.577                          | 51.610                         | 494.275                        | 88.9599                        | 1147.0                         |

#### 4.5. Üç Faz E - I Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

Üç faz E - I laminasyon Şekil 4.6 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.6. Üç Faz E - I Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.9. Üç Faz E - I Laminasyon Boyut Verileri

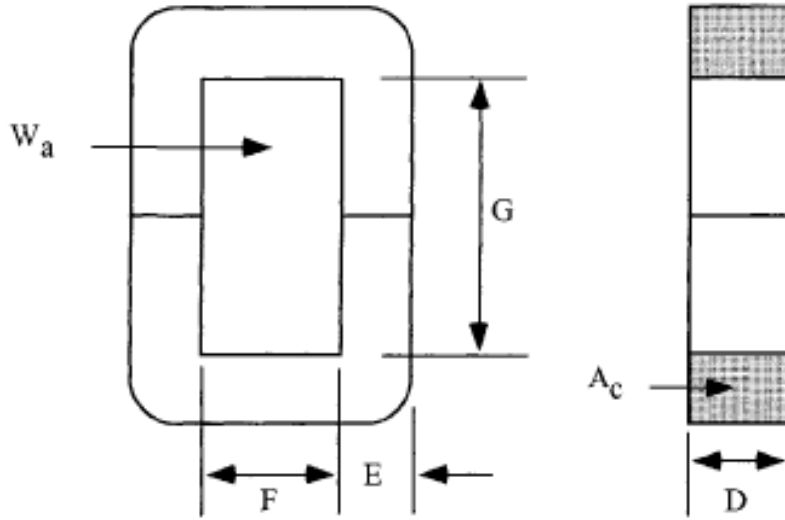
| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm   |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|--------|
| 0.250EI  | 0.635 | 0.635 | 0.871 | 2.858 | 1.000EI  | 2.540 | 2.540 | 3.810 | 7.620  |
| 0.375EI  | 0.953 | 0.953 | 1.270 | 3.175 | 1.200EI  | 3.048 | 3.048 | 3.048 | 7.620  |
| 0.500EI  | 1.270 | 1.270 | 1.588 | 3.493 | 1.500EI  | 3.810 | 3.810 | 3.810 | 9.525  |
| 0.562EI  | 1.427 | 1.427 | 1.588 | 5.398 | 1.800EI  | 4.572 | 4.572 | 4.572 | 11.430 |
| 0.625EI  | 1.588 | 1.588 | 1.984 | 5.634 | 2.400EI  | 6.096 | 6.096 | 6.096 | 15.240 |
| 0.875EI  | 2.223 | 2.223 | 2.779 | 6.111 | 3.600EI  | 9.144 | 9.144 | 9.144 | 22.860 |

Çizelge 4.10. Üç Faz E - I Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | W <sub>tcu</sub> grams | W <sub>tfe</sub> grams | MLT cm | W <sub>a</sub>  | A <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>p</sub> cm <sup>4</sup> | K <sub>g</sub> cm <sup>5</sup> | A <sub>t</sub> cm <sup>2</sup> |
|----------|------------------------|------------------------|--------|-----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |                        |                        |        | 2A <sub>c</sub> |                                |                                |                                |                                |                                |
| 0.250EI  | 57                     | 54                     | 4.3    | 3.251           | 0.383                          | 2.49                           | 1.43                           | 0.051                          | 53                             |
| 0.375EI  | 134                    | 154                    | 6.2    | 2.339           | 0.862                          | 4.03                           | 5.21                           | 0.289                          | 102                            |
| 0.500EI  | 242                    | 324                    | 8.2    | 1.810           | 1.532                          | 5.54                           | 12.74                          | 0.955                          | 159                            |
| 0.562EI  | 403                    | 421                    | 8.8    | 2.213           | 1.936                          | 8.57                           | 24.88                          | 2.187                          | 207                            |
| 0.625EI  | 600                    | 706                    | 10.1   | 2.334           | 2.394                          | 11.18                          | 40.13                          | 3.816                          | 275                            |
| 0.875EI  | 1255                   | 1743                   | 13.9   | 1.809           | 4.693                          | 16.98                          | 119.53                         | 16.187                         | 487                            |
| 1.000EI  | 2594                   | 2751                   | 16.7   | 2.368           | 6.129                          | 29.03                          | 266.91                         | 39.067                         | 730                            |
| 1.200EI  | 2178                   | 3546                   | 17.6   | 1.316           | 8.826                          | 23.23                          | 307.48                         | 61.727                         | 725                            |
| 1.500EI  | 4266                   | 6957                   | 22.0   | 1.316           | 13.790                         | 36.29                          | 750.68                         | 187.898                        | 1132                           |
| 1.800EI  | 7326                   | 12017                  | 26.3   | 1.316           | 19.858                         | 52.26                          | 1556.61                        | 470.453                        | 1630                           |
| 2.400EI  | 17230                  | 28634                  | 34.8   | 1.316           | 35.303                         | 92.90                          | 4919.66                        | 1997.995                       | 2899                           |
| 3.600EI  | 58144                  | 96805                  | 52.2   | 1.316           | 79.432                         | 209.03                         | 24905.75                       | 15174.600                      | 6522                           |

#### 4.6. Üç Faz C - C Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

Üç faz C - C laminasyon Şekil 4.7 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.7. Üç Faz C- C Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.11. Üç Faz C - C Laminasyon Boyut Verileri

| Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  | Part No. | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|
| ML-002   | 0.635 | 0.476 | 0.635 | 1.588 | ML-014   | 1.270 | 1.270 | 1.270 | 3.969 |
| ML-004   | 0.635 | 0.635 | 0.635 | 2.223 | ML-016   | 1.905 | 1.270 | 1.270 | 3.969 |
| ML-006   | 1.270 | 0.635 | 0.635 | 2.223 | ML-018   | 1.270 | 1.111 | 1.588 | 3.969 |
| ML-008   | 0.953 | 0.953 | 0.953 | 3.016 | ML-020   | 2.540 | 1.588 | 1.588 | 3.969 |
| ML-010   | 1.588 | 0.953 | 0.953 | 3.016 | ML-022   | 2.540 | 1.588 | 1.588 | 4.921 |
| ML-012   | 1.270 | 1.111 | 1.270 | 2.858 | ML-024   | 2.450 | 1.588 | 1.905 | 5.874 |

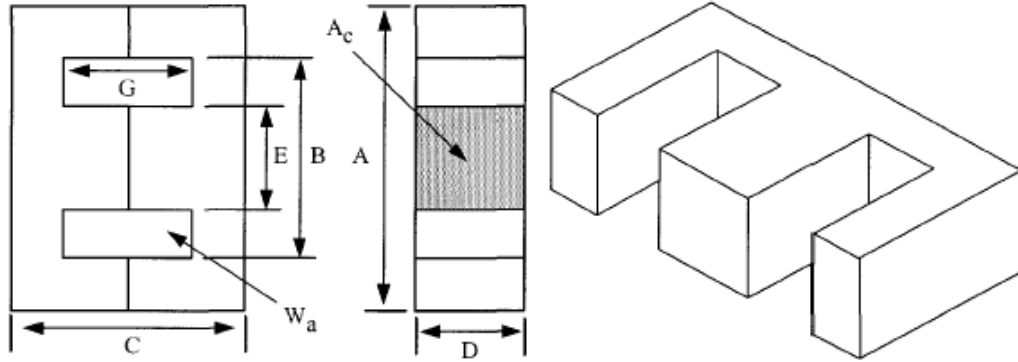
Çizelge 4.12. Üç Faz C -C Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | W <sub>icu</sub> grams | W <sub>ife</sub> grams | MLT cm | MPL cm | W <sub>a</sub> | A <sub>c</sub> cm <sup>2</sup> | W <sub>a</sub> cm <sup>2</sup> | A <sub>p</sub> cm <sup>4</sup> | K <sub>g</sub> cm <sup>5</sup> | A <sub>i</sub> cm <sup>2</sup> |
|----------|------------------------|------------------------|--------|--------|----------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|--------------------------------|
|          |                        |                        |        |        | A <sub>c</sub> |                                |                                |                                |                                |                                |
| ML-002   | 13.0                   | 13.0                   | 3.6    | 6.4    | 3.747          | 0.269                          | 1.008                          | 0.271                          | 0.0080                         | 21.0                           |
| ML-004   | 19.8                   | 22.6                   | 3.9    | 8.3    | 3.933          | 0.359                          | 1.412                          | 0.507                          | 0.0184                         | 29.8                           |
| ML-006   | 27.2                   | 45.2                   | 5.4    | 8.3    | 1.967          | 0.718                          | 1.412                          | 1.013                          | 0.0537                         | 37.5                           |
| ML-008   | 58.4                   | 72.5                   | 5.7    | 11.8   | 3.556          | 0.808                          | 2.874                          | 2.323                          | 0.1314                         | 63.6                           |
| ML-010   | 73.5                   | 120.8                  | 7.2    | 11.8   | 2.134          | 1.347                          | 2.874                          | 3.871                          | 0.2902                         | 74.7                           |
| ML-012   | 95.1                   | 121.7                  | 7.4    | 12.7   | 2.891          | 1.256                          | 3.630                          | 4.558                          | 0.3109                         | 87.1                           |
| ML-014   | 137.7                  | 170.4                  | 7.7    | 15.6   | 3.513          | 1.435                          | 5.041                          | 7.236                          | 0.5408                         | 112.1                          |
| ML-016   | 160.5                  | 255.6                  | 9.0    | 15.6   | 2.341          | 2.153                          | 5.041                          | 10.854                         | 1.0443                         | 126.8                          |
| ML-018   | 176.2                  | 149.1                  | 7.9    | 15.6   | 5.019          | 1.256                          | 6.303                          | 7.915                          | 0.5056                         | 118.9                          |
| ML-020   | 254.5                  | 478.4                  | 11.4   | 17.5   | 1.756          | 3.590                          | 6.303                          | 22.626                         | 2.8607                         | 182.0                          |
| ML-022   | 315.6                  | 530.5                  | 11.4   | 19.4   | 2.177          | 3.590                          | 7.815                          | 28.053                         | 3.5469                         | 202.0                          |
| ML-024   | 471.7                  | 600.1                  | 11.9   | 21.9   | 3.117          | 3.590                          | 11.190                         | 40.170                         | 4.8656                         | 244.8                          |

#### 4.7. Üç Faz E -E Laminasyon İçin Tasarım ve Boyut Dataları

Üç faz E -E laminasyon Şekil 4.8 de gösterildiği gibi oluşturulur. Tasarım verileri ve

boyut verileri aşağıdaki çizelgelerde belirtilmiştir.



Şekil 4.8. Üç Faz E -E Laminasyon ve Karkas Şekilleri

Çizelge 4.13. Üç Faz E -E Laminasyon Boyut Verileri

| Part No. | A cm  | B cm  | C cm  | D cm  | E cm  | G cm  | Part No. | A cm  | B cm  | C cm  | D cm  | E cm  | G cm  |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| EE-187   | 1.930 | 1.392 | 1.620 | 0.478 | 0.478 | 1.108 | EE-21    | 4.087 | 2.832 | 3.300 | 1.252 | 1.252 | 2.080 |
| EE-2425  | 2.515 | 1.880 | 1.906 | 0.653 | 0.610 | 1.250 | EE-625   | 4.712 | 3.162 | 3.940 | 1.567 | 1.567 | 2.420 |
| EE-375   | 3.454 | 2.527 | 2.820 | 0.935 | 0.932 | 1.930 | EE-75    | 5.657 | 3.810 | 4.720 | 1.880 | 1.880 | 2.900 |

Çizelge 4.14. Üç Faz E - E Laminasyon Tasarım Verileri

| Part No. | $W_{icu}$ grams | $W_{ife}$ grams | MLT cm | MPL cm | $W_a$ cm | $A_c$ cm <sup>2</sup> | $W_a$ cm <sup>2</sup> | $A_p$ cm <sup>4</sup> | $K_g$ cm <sup>5</sup> | $A_t$ cm <sup>2</sup> | *AL mh/1K |
|----------|-----------------|-----------------|--------|--------|----------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------|
| EE-187   | 6.8             | 4.4             | 3.8    | 4.01   | 2.219    | 0.228                 | 0.506                 | 0.116                 | 0.0028                | 14.4                  | 500       |
| EE-2425  | 13.9            | 9.5             | 4.9    | 4.85   | 2.068    | 0.384                 | 0.794                 | 0.305                 | 0.0095                | 23.5                  | 767       |
| EE-375   | 36.4            | 33.0            | 6.6    | 6.94   | 1.875    | 0.821                 | 1.539                 | 1.264                 | 0.0624                | 45.3                  | 1167      |
| EE-21    | 47.3            | 57.0            | 8.1    | 7.75   | 1.103    | 1.490                 | 1.643                 | 2.448                 | 0.1802                | 60.9                  | 1967      |
| EE-625   | 64.4            | 103.0           | 9.4    | 8.90   | 0.808    | 2.390                 | 1.930                 | 4.616                 | 0.4700                | 81.8                  | 2767      |
| EE-75    | 111.1           | 179.0           | 11.2   | 10.70  | 0.826    | 3.390                 | 2.799                 | 9.487                 | 1.1527                | 118.0                 | 3467      |

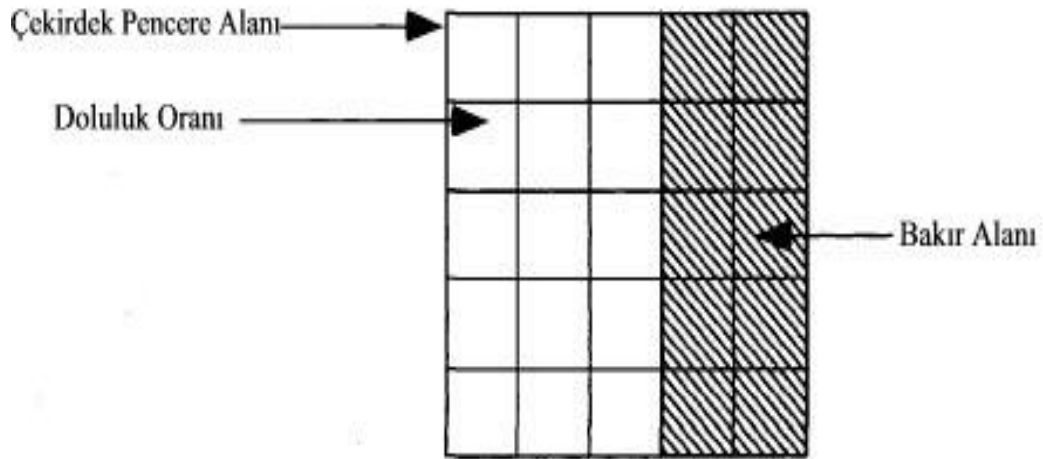
## 5. TRANSFORMATÖR PARAMETRELERİ

### 5.1. Pencere Kullanım Faktörü, $K_u$

Pencere kullanım faktörü; transformatörün pencere alanının ne kadarlık bir bölümünün bakır ile doldurulduğunu gösterir. Pencere kullanım faktörüne etki eden beş ana faktör söz konusudur:

1. Tel Yalıtımı,  $S_1$
2. Sargı Dolgu Faktörü,  $S_2$
3. Etkin pencere alanı,  $S_3$
4. Çok uçlu sarımlar için veya sarımlar arası gereken yalıtım,  $S_4$
5. İşçilik (kalite)

Bu faktörler bir araya geldiğinde Şekil 5-1’de gösterildiği şekilde  $K_u=0.4$  normal pencere kullanımını verecektir.



Şekil 5.1. Bakır İle Doldurulmuş Pencere Alanı

Mevcut merkezi pencerenin pencere kullanım faktörü  $K_u$ ; bakırın kapladığı alanın oranıdır ve  $S_1$ ,  $S_2$ ,  $S_3$  ve  $S_4$ 'ten hesaplanır.

$$K_u = S_1 S_2 S_3 S_4 \quad (5.1)$$

Bu formülde:

$S_1$ - iletim alanı / tel alanı

$S_2$ - sarılı alan / kullanılabilir pencere alanı

$S_3$ - kullanılabilir pencere alanı / pencere alanı

$S_4$ - kullanılabilir pencere alanı/ (kullanılabilir pencere alanı + yalıtım)

Bu işlemde;

İletim alanı  $A_{w(B)}$  = bakır alanı

Tel alanı,  $A_w$  = bakır alanı + yalıtım alanı

Sarılı alan,  $A_w$  = dönüş sayısı x bir dönüşün tel alanı

Kullanılabilir pencere alanı: Belli bir sarım sonucu ortaya çıkan mevcut pencere alanı – kalan alan;

Pencere alanı = Mevcut pencere alanı

Yalıtım alanı = Sarım yalıtımı için kullanılan alandır.

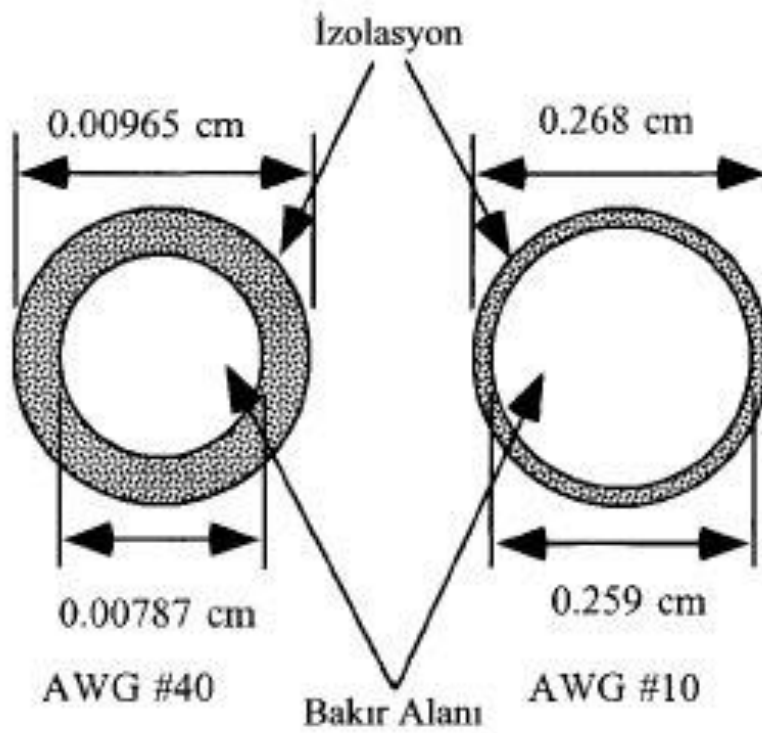
### 5.1.1. $S_1$ , tel yalıtımı

Yüksek akımlı ya da düşük akımlı transformatörlerin tasarımında, iletken alanının toplam tel alanına olan oranı tel büyüklüğüne bağlı olarak 0.941 ila 0.673 arasında değişkenlik gösterebilir. Şekil 5-2’de yalıtım kalınlığı; yalıtımın toplam tel alanına olan etkisini göstermek için büyütülmüştür.

Yüzey etkisini azaltacak çok kademeli ince tel kullanılarak Şekil 5-2’de pencere kullanım faktörü  $K_u$  üzerinde büyük etkisi olacağı görülebilir.  $S_1$ ; sadece tel büyüklüğüne bağlı değildir. Ayrıca yalıtım kaplamasına da bağlıdır. Çizelge 5-1; çıplak manyetik telin tek, ağır, üçlü ve dördü yalıtım açısından yalıtımlı manyetik

teline olan oranını gösterir. Düşük akımlı transformatörler tasarlanırken, artan yalıtım malzeme miktarından dolayı  $S_1$  'in yeniden değerlendirilmesi önerilir.

$$S_1 = \frac{A_{w(B)}}{A_w} \quad (5.2)$$



Şekil 5.2. Çeşitli AWG Ölçülerindeki Tel Dolumları

Çizelge 5.1. Bakır Kablo Verileri

| Manyetik Kablo Verileri |                             |                   |                  |                  |                  |
|-------------------------|-----------------------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| AWG                     | Boş Alan (cm <sup>2</sup> ) | Boş / Tekli Oranı | Boş / Ağır Oranı | Boş / Üçlü Oranı | Boş/Dörtlü Oranı |
| 10                      | 0,1019                      | 0,961             | 0,930            | 0,910            | 0,880            |
| 15                      | 0,0571                      | 0,939             | 0,899            | 0,867            | 0,826            |
| 20                      | 0,0320                      | 0,917             | 0,855            | 0,812            | 0,756            |
| 25                      | 0,0179                      | 0,878             | 0,793            | 0,733            | 0,662            |
| 30                      | 0,0100                      | 0,842             | 0,743            | 0,661            | 0,574            |
| 35                      | 0,0056                      | 0,815             | 0,698            | 0,588            | 0,502            |
| 40                      | 0,0031                      | 0,784             | 0,665            | 0,544            | 0,474            |

### 5.1.2. S<sub>2</sub> Dolgu faktörü

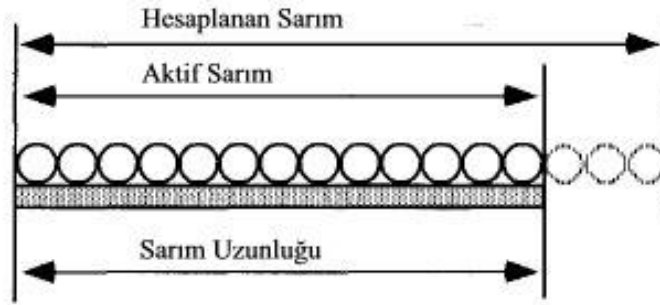
S<sub>2</sub>; kullanılabilir pencere alanının tel bükümü ya da dolgu faktörüdür. Pürüzsüz bir yüzeyin üzerine çok fazla sayıda dönüşün sarılması durumunda sarım uzunluğu; tel ayarına bağlı olarak hesaplanan değeri tel çapından %10 ila 15 aşar. Bu durum Şekil 5.3'te gösterilmiştir. Tel bükümü; tel gerilimine ve sürekli tel çapı gibi tel kalitesine ve operatörün becerisine bağlı olan sarım tekniğine tabidir. Tabaka sarım bobinlerinin farklı tel büyüklüklerine yönelik tel büküm faktör ilişkisi Çizelge 5.2'de gösterilirken tesadüfi sarım bobinlerinininki de Çizelge 5.3'de gösterilmiştir. Tablolar; ayrı filmli manyetik tel, 10 – 44 AWG'ye yönelik çap dışındakileri listeler.

Çizelge 5.2. Yüklenmiş Bakır Kablo Faktörleri

| Yüklenmiş Bakır Kablo Faktörleri |                         |
|----------------------------------|-------------------------|
| AWG                              | Yüklenmiş Kablo Faktörü |
| 10 – 15                          | 0,90                    |
| 26 – 30                          | 0,89                    |
| 31 – 35                          | 0,88                    |
| 36 – 38                          | 0,87                    |
| 39 – 40                          | 0,86                    |
| 41 – 44                          | 0,85                    |

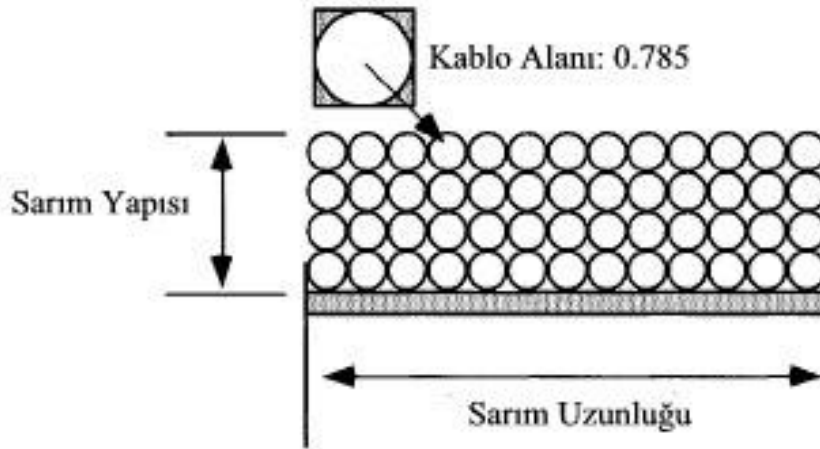
Çizelge 5.3. Yüklenmiş Rastgele Bakır Kablo Faktörleri

| Yüklenmiş Rastgele Bakır Kablo Faktörleri |                         |
|-------------------------------------------|-------------------------|
| AWG                                       | Yüklenmiş Kablo Faktörü |
| 10 – 22                                   | 0,90                    |
| 23 – 39                                   | 0,85                    |
| 40 – 44                                   | 0,75                    |



Şekil 5.3. Birim Uzunluk oranı

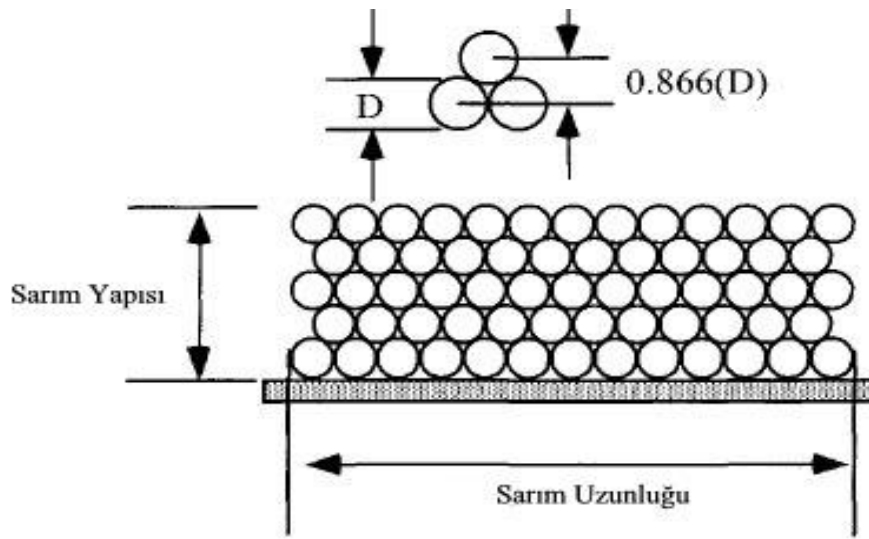
Şekil 5.4 ve Şekil 5.5'te gösterilen iki tane ideal sarım düzenlemesi vardır. Kare sarım Şekil 5.4'te gösterilirken altıgen sarım Şekil 5.5'te gösterilmiştir. En basit sarım şekli; Şekilde 5.4'te gösterildiği üzere sarılan makara ile, döndürülerek ve zemin zemine yapılır. Kare sarım şeklinin teorik dolgu faktörü 0,785'tir.



Şekil 5.4. Kare Sarım Şeklinin Teorik Dolgu Faktörü 0,785

Görünüşte daha iyi dolgu faktörü; Şekil 5.4'te gösterilen kare sarılıma nazaran Şekil 5.5'te gösterilen altıgen sarım kullanılarak elde edilir. Bu türden sarımda, teller kare sarım şeklinde olduğu gibi tam birbirinin üzerine gelecek şekilde konulmaz. Bunun yerine teller Şekil 5.5'te gösterildiği şekilde alttaki tabakanın deliklerine sokulur. Bu tür sarım; olası en sıkı şekilde tel paketlenmesi sağlar. Altıgen sarım şekli; teorik 0,907 dolgu faktörü meydana getirir.

0,785 kare sarım şekli kullanılarak elde edilen dolgu faktörü; tabaka yalıtımı olmadan elle sarılarak da neredeyse elde edilebilir. Herhangi bir tabaka yalıtımı; dolgu faktörünü azaltacaktır. 0,907 altıgen sarım şekli kullanılarak yapılan elle sarım şu sonuçları verecektir: İlk tabaka neredeyse tüm düzende azalacaktır. İkinci tabakada bazı düzensizlikler ortaya çıkmıştır. Üçüncü ve dördüncü tabakada ise, düzensizlik gerçekten hakimdir ve sarılım tamamıyla yamulmuştur. Bu tür sarım; küçük döngülerde iyi işe yarar ama çok sayıda döngü yapıldığında tesadüfi olarak yararlı hale gelecektir.

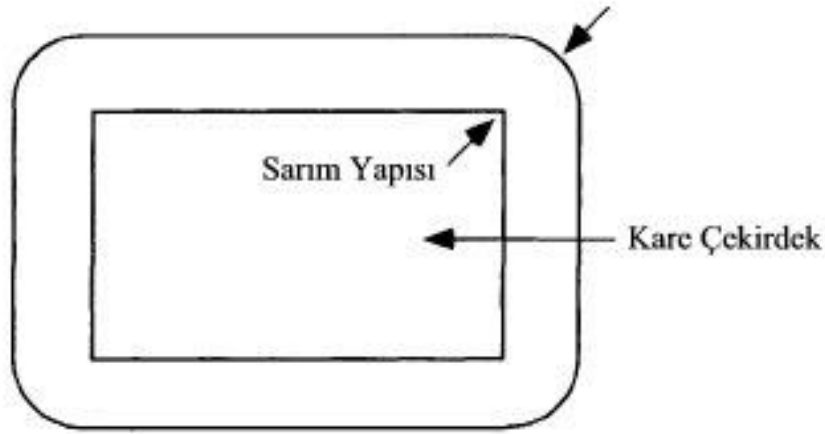


Şekil 5.5. 0,907 Altıgen Sarım Şekli Kullanılarak Yapılan Sarım

Kare bobin üzerindeki ideal sarım Şekil 5.6'da verilmiştir. Ondan sonra, sarım dikdörtgen bobin ve tüpleri sararken merkezin kapladığı bölgedeki gerçek sarım yüksekliği; hesaplanan sarım yüksekliğinden daha büyük olacaktır ya da sarımların eğilimden dolayı daha da artacaktır. Bu durum Şekil 5.7 de gösterilmiştir. Eğilim miktarı; sarılım oranlarına ve sarımın yüksekliğine bağlıdır. Genellikle, mevcut olan sarımın artması; %15 ila 20 ya da  $0,85 \times$  sarım artışı kadar azaltılacaktır. Yuvarlak bobin ya da tüp üzerine sarılırken bu eğim etkisi dikkate alınmaz.

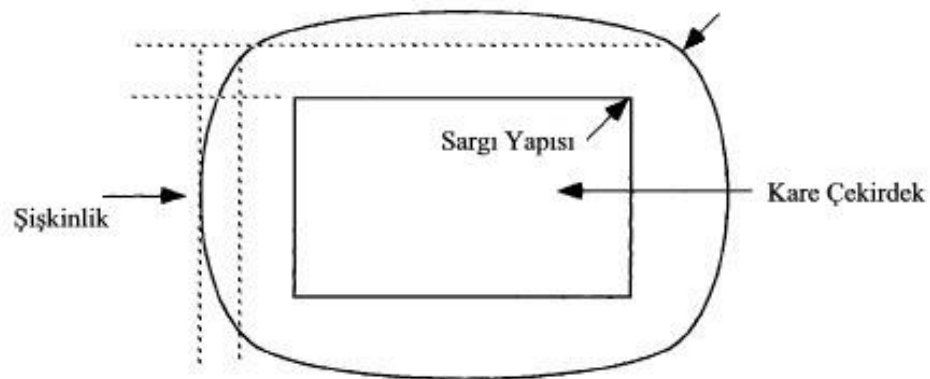
Altıgen sarım şekille ve eğimli sarım şekli ile yalıtımlı tabaka sargılı bobinlerde kullanılan kare sarım şekli ile karşılaştırıldığında bu sonucun ortaya 0,61 dolgu faktörü oluşturacağı görülmektedir. Ama her zaman yüzde birlik oran vardır.

Örneğin, tasarımın doğru bobini, doğru sayıda döngüsü ve doğru tel büyüklüğü olduğunda. Bu genelde tasarımın kritik olmadığı durumlarda ortaya çıkar.

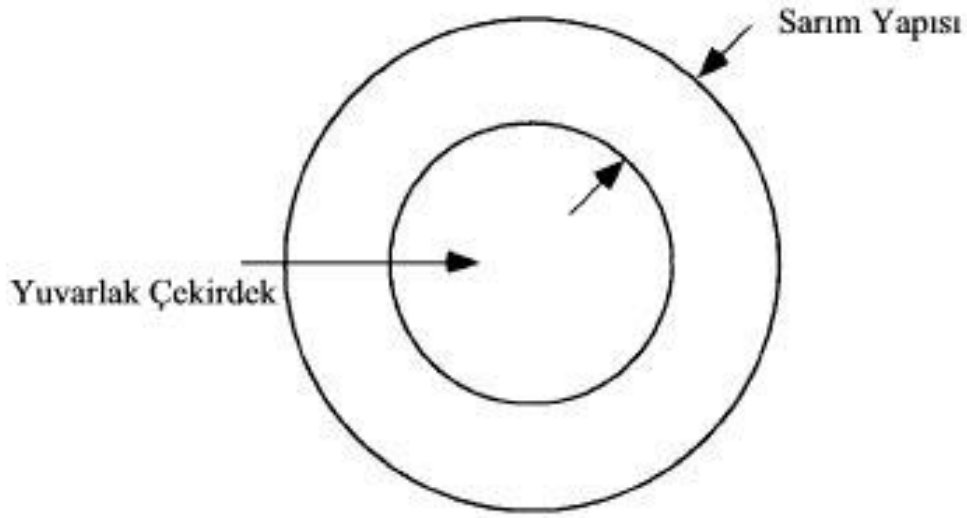


Şekil 5.6. Kare Bobin Üzerindeki İdeal Sargı

Bu eğim etkisini azaltmak ve hem tesadüfi hem de zemin sarımı üzerindeki artışın minimum olmasını sağlamak için Şekil 5.8’de gösterilen yuvarlak bobin; en çok sıkıştırılmış tasarımı sağlayacaktır. Şekil 5.8’de, yuvarlak bobinin hem tabaka hem de yuvarlak sargılar için bobinin 360 derece etrafında tek gerginlik sağladığı görülebilir. Yuvarlak bobin kullanmanın diğer faydası da eğilimden kaynaklanan kaçak endüktansını azaltması ve en aza indirmesidir.



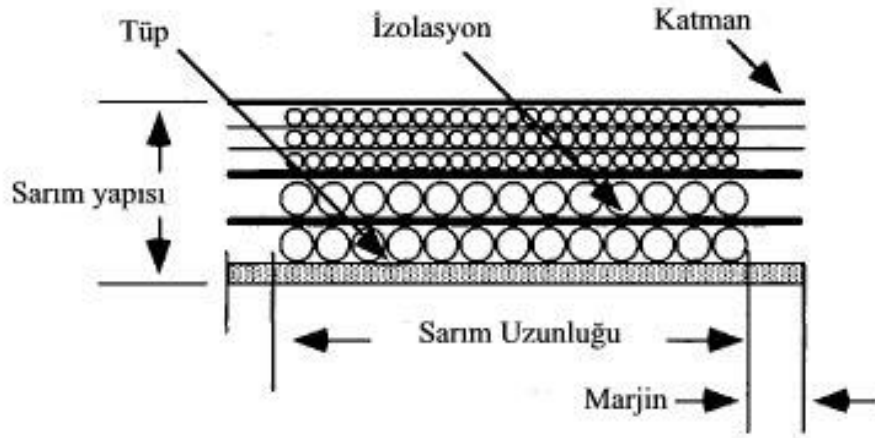
Şekil 5.7. Transformör Sarımlarındaki Eğilim Miktarı



Şekil 5.8. Yuvarlak Bobin ve Sağladığı Sıkıştırılmış Tasarım

### 5.1.3. $S_3$ Etkin pencere

Etkin pencere  $S_3$ ; sarım için mevcut olan pencere alanı miktarını gösterir. Transformatör tasarımında kullanabilecek sarım alanı; bobine ya da tüp ayarlarına bağlıdır. Tüp kullanan tabaka sarımın tasarlanması Şekil 5.9'da gösterildiği şekilde marjının olmasını gerekli kılacaktır. Marjın boyutları tel büyüklüğüne göre değişkenlik gösterecektir. Bu durum Çizelge 5.4'te gösterilmiştir. Şekil 5.9'da ve Çizelge 5.4'te marjin etkin pencere alanı miktarını nasıl azalttığı görülebilir. Katman sarım tekniği kullanılarak transformatörler oluşturulduğunda tabaka yalıtım kalınlığına yönelik sanayi standardı mevcut bulunmaktadır. Kalınlık; Çizelge 5.5'te gösterildiği şekilde tel çapına bağlıdır.



Şekil 5.9. Marjınlı Transformatör Sarımı

Çizelge 5.4. Marjın Boyutlarının Tel Büyüklüğüne Göre Değişkenlikleri

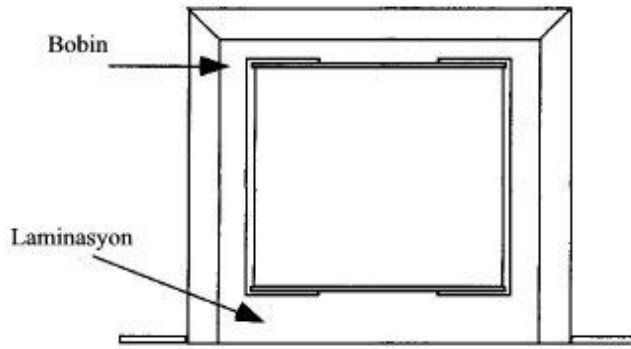
| Marjın Boyutları Tel Büyüklüğüne Göre Değişkenlikleri |        |       |
|-------------------------------------------------------|--------|-------|
| AWG                                                   | Marjın |       |
|                                                       | cm     | inch  |
| 10 – 15                                               | 0,635  | 0,25  |
| 16 – 18                                               | 0,475  | 0,187 |
| 19 – 21                                               | 0,396  | 0,156 |
| 22 – 31                                               | 0,318  | 0,125 |
| 32 – 37                                               | 0,236  | 0,093 |
| 38 – Yukarısı                                         | 0,157  | 0,062 |

Çizelge 5.5. Çeşitli AWG Ölçülerindeki Tel Çapları

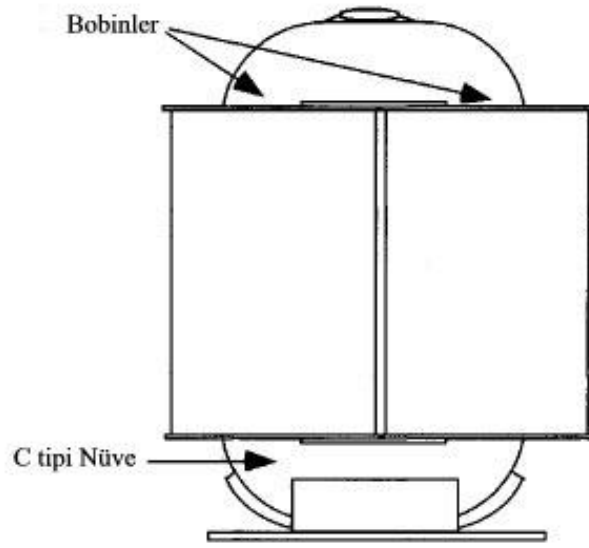
| Çeşitli AWG Ölçülerindeki Tel Kalınlığı |               |         |
|-----------------------------------------|---------------|---------|
| AWG                                     | Tel Kalınlığı |         |
|                                         | cm            | inch    |
| 10 – 16                                 | 0,02540       | 0,01000 |
| 17 – 19                                 | 0,01780       | 0,00700 |
| 20 – 21                                 | 0,01270       | 0,00500 |
| 22 – 23                                 | 0,00760       | 0,00300 |
| 24 – 27                                 | 0,00510       | 0,00200 |
| 28 – 33                                 | 0,00381       | 0,00150 |
| 34 – 41                                 | 0,00254       | 0,00100 |
| 42 – 46                                 | 0,00127       | 0,00050 |

Şekil 5.10’da gösterildiği şekilde tekli bobin tasarımı ince levhalar açısından 0,835 ila 0,929 arasında ve ferit için 0,55 ila 0,75 etkin alan  $W_a$  verir; Şekil 5.11’de gösterildiği şekilde iki tane bobin ayarı; şerit C merkezleri için 0,687 ila 0,873 arasında etkin alan  $W_a$  verir.

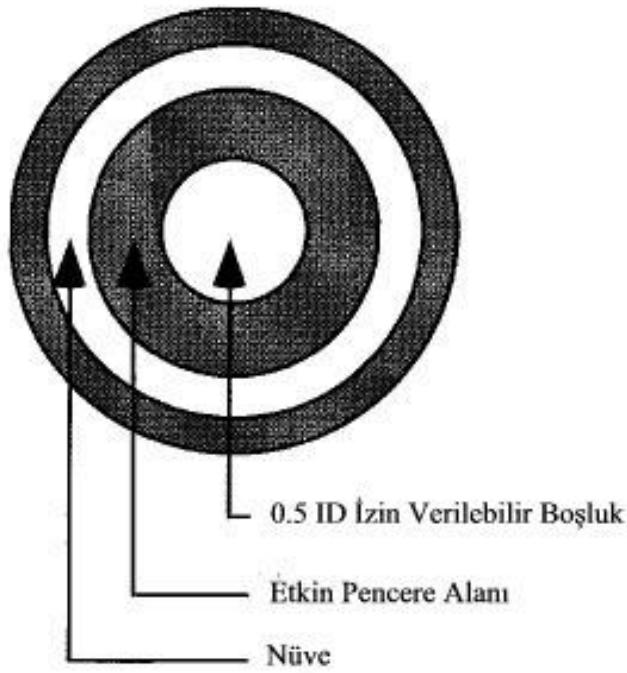
Toroit biraz farklıdır.  $S_3$  terimi; gerçekte sarım için kullanılabilir pencere alanının miktarını tanımlar. Toroit merkezini sarmak için; mekiğin geçişine izin vermek için yer bırakılmak zorundadır. Eğer iç çapın yarısı mekik için ayrılırsa o halde Şekil 5.12’de gösterildiği şekilde etkili pencere alanı faktörü  $S_3= 0,75$  için iyi değer olan tasarım için %75’lik pencere alanı kalacaktır ( $W_a$ ). Toroit aşağıda belirtilen tüm kategorilere konulabilir.



Şekil 5.10. Tekli Bobin Tasarımı



Şekil 5.11. İki Tane Bobin Ayarı; Şerit C Merkezleri İçin



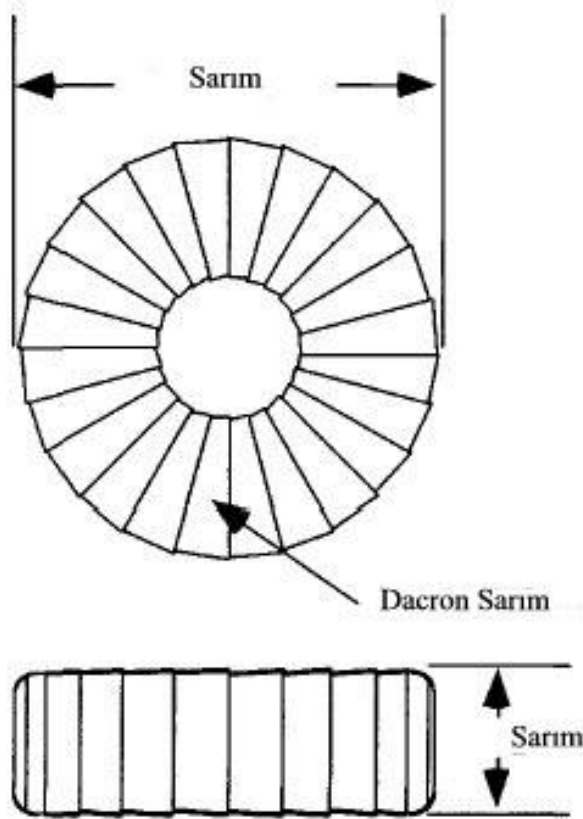
Şekil 5.12. Etkin Pencere Alanı

#### 5.1.4. S<sub>4</sub> Yalıtım faktörü

Yalıtım faktörü S<sub>4</sub>; Yalıtım için gerçekten kullanılabilir pencere alanını belirtir. Eğer transformatörün önemli yalıtım miktarları olan çoklu sekonderleri var ise S<sub>4</sub>; kısmen yalıtımın işgal ettiği ilave alandan ve kısmen daha kötü alan faktöründen dolayı her bir ilave sekonder sarım için % 5 ila 10 oranında azaltılmalıdır.

Yalıtım faktörü S<sub>4</sub>; Şekil 5.12’de dikkate alınmamıştır. Yalıtım faktörü S<sub>4</sub>; 1,0 olacaktır. Pencere kullanım faktörü, K<sub>u</sub>, yüksek oranda Şekil 5.13’te gösterilen toroid içerisindeki yalıtımın hızla birikmesinden dolayı yalıtım faktörü S<sub>4</sub>’ten etkilenir.

Şekil 5.13’te, yalıtım birikimi dışarıya nazaran iç kısımda daha fazladır. Örneğin Şekil 5.13’te; 1,27 cm genişliğinde şerit; dış çapta üzerine gelecek şekilde 0,32 cm genişliğinde şerit ile kullanılsaydı, üst üste gelen kalınlık; şeridin dört katı kalınlığında olacaktır. Üst üste gelen yerin miktarının toroid ve gerekli olan şerit büyüklüğüne bağlı olduğuna dikkat edilmelidir. Toroid bileşenlerinin tasarımında ve mekiğin geçmesi için geriye kalan 0,5 ID’nin kullanılmasında yeterli miktarda paket kağıdı mevcuttur.



Şekil 5.13. İç Dış Yalıtım Birikimi

Sonuç olarak;

Pencere kullanımını oluşturan tüm dört farklı kısım incelendiğinde pencere kullanım faktörüne yönelik en iyi uyum  $K_u=0.4$ 'tür.

$S_1$ - iletim alanı / tel alanı = 0.855; #20 AWG

$S_2$ - sarılı alan / kullanılabilir pencere alanı = 0.61

$S_3$ - kullanılabilir pencere alanı / cam alanı = 0.75

$S_4$ - kullanılabilir pencere alanı/ (kullanılabilir pencere alanı + yalıtım) = 1

$$K_u = S_1 S_2 S_3 S_4$$

$$K_u = (0.855)(0.61)(0.75)(1.0) = 0.391 \approx 0.4 \quad (5.3)$$

Çok yaygın bir sayı olarak tüm tasarımlarda kullanılır. Tüm manyetik bileşenlerinin

tasarımlarında önemli faktördür.

## 5.2. Sargı

Standart manyetik sargılar üç farklı malzemeden yapılır. Bunlar Çizelge 5.6 da gösterildiği gibi bakır, gümüş ve alüminyumdur.

Çizelge 5.6. Transformatör İçin Kullanılabilecek Sargı Malzemeleri

| Sargı Malzemeleri Özellikleri |         |           |               |                 |                |                 |
|-------------------------------|---------|-----------|---------------|-----------------|----------------|-----------------|
| Malzeme                       | Sembolü | Yoğunluğu | Özgül Direnci | Ağırlık Faktörü | Direnç Faktörü | Sıcaklık Sabiti |
| Bakır                         | Cu      | 8.89      | 1.72          | 1               | 1              | 0.00393         |
| Gümüş                         | Ag      | 10.49     | 1.59          | 1.18            | 0.95           | 0.00380         |
| Alüminyum                     | Al      | 2.703     | 2.83          | 0.3             | 1.64           | 0.00410         |

Transformatörler genellikle, iletkenlik derecesinin yüksek olmasından dolayı bakırdan yapılırlar. Bakırın yüksek derecedeki yumuşaklık özelliği, bakırın manyetik bir çekirdek çevresindeki sıkı sargıların içerisine doğru bükülmesini kolaylaştırır ve sargı için gereken bakır miktarını ve hacmini en aza indirir. Yüksek derecedeki iletkenliği, sargı için gereken bakır miktarını ve böylece sargının hacim ve ağırlığını en aza indirmede katkıda bulunur. Bakırın iletkenliğinin yüksek olmasına karşın, bir iç direnci vardır ve bu nedenle oluşan elektrik kaybı önemli bir ısı kaynağıdır. Oluşan ısı, hem sargının hem de manyetik çekirdeğin sıcaklığını artırır.

Çizelge 5.7 de AWG 10 ile 44 arasındaki bakır tel değerleri verilmiştir. Bu tablo sayesinde transformatör tasarımında manyetik çekirdek değerlerinden elde edilebilecek boş pencere alanı değerinden o sarım için kullanılacak bakır tel seçilebilir ve manyetik sargının optimal seviyede kullanılması sağlanabilir. AWG ölçüm için kullanılan ölçüm tablası Şekil 5.14’de gösterilmiştir.

Çizelge 5.7. Transformatör İçin Kullanılabilecek Tel Tablosu

| AWG | Boş Alan<br>cm <sup>2</sup> | yoğunluk | Alan<br>Cm <sup>2</sup> 10 <sup>-3</sup> | Çap<br>cm | Sarım<br>oranı | Sarım<br>oranı | ağırlık |
|-----|-----------------------------|----------|------------------------------------------|-----------|----------------|----------------|---------|
| 10  | 52,61                       | 32,7     | 55,9                                     | 0,267     | 3,9            | 11             | 0,468   |
| 11  | 41,68                       | 41,4     | 44,5                                     | 0,238     | 4,4            | 13             | 0,375   |
| 12  | 33,08                       | 52,1     | 35,64                                    | 0,213     | 4,9            | 17             | 0,2977  |
| 13  | 26,26                       | 65,6     | 28,36                                    | 0,19      | 5,5            | 21             | 0,2367  |
| 14  | 20,82                       | 82,8     | 229500                                   | 0,171     | 6              | 26             | 0,1879  |
| 15  | 16,51                       | 104,3    | 18,37                                    | 0,153     | 6,8            | 33             | 0,1492  |
| 16  | 13,07                       | 131,8    | 14,73                                    | 0,137     | 7,3            | 41             | 0,1184  |
| 17  | 10,39                       | 165,8    | 11,68                                    | 0,122     | 8,2            | 51             | 0,0943  |
| 18  | 8,228                       | 209,5    | 9,326                                    | 0,109     | 9,1            | 64             | 0,07474 |
| 19  | 6,531                       | 263,9    | 7,539                                    | 0,098     | 10,2           | 80             | 0,0594  |
| 20  | 5,188                       | 332,3    | 6,065                                    | 0,0879    | 11,4           | 99             | 0,04726 |
| 21  | 4,116                       | 418,9    | 4,837                                    | 0,0785    | 12,8           | 124            | 0,03757 |
| 22  | 3,243                       | 531,4    | 3,857                                    | 0,0701    | 14,3           | 156            | 0,02965 |
| 23  | 2,588                       | 666      | 3,135                                    | 0,0632    | 15,8           | 191            | 0,02372 |
| 24  | 2,047                       | 842,1    | 2,514                                    | 0,0566    | 17,6           | 239            | 0,01884 |
| 25  | 1,623                       | 1062     | 2,002                                    | 0,0505    | 19,8           | 300            | 0,01498 |
| 26  | 1,28                        | 1345     | 1,603                                    | 0,0452    | 22,1           | 374            | 0,01185 |
| 27  | 1,021                       | 1687     | 1,313                                    | 0,0409    | 24,4           | 457            | 0,00945 |
| 28  | 0,8046                      | 2142     | 1,0515                                   | 0,0366    | 27,3           | 571            | 0,00747 |
| 29  | 0,647                       | 2664     | 0,8548                                   | 0,033     | 30,3           | 702            | 0,00602 |
| 30  | 0,5067                      | 3402     | 0,6785                                   | 0,0294    | 33,9           | 884            | 0,00472 |
| 31  | 0,4013                      | 4294     | 0,5596                                   | 0,0267    | 37,5           | 1072           | 0,00372 |
| 32  | 0,3242                      | 5315     | 0,4559                                   | 0,0241    | 41,5           | 1316           | 0,00305 |
| 33  | 0,2554                      | 6748     | 0,3662                                   | 0,0216    | 46,3           | 1638           | 0,00241 |
| 34  | 0,2011                      | 8572     | 0,2863                                   | 0,0191    | 52,5           | 2095           | 0,00189 |
| 35  | 0,1589                      | 10849    | 0,2268                                   | 0,017     | 58,8           | 2645           | 0,0015  |
| 36  | 0,1266                      | 13608    | 0,1813                                   | 0,0152    | 62,5           | 3309           | 0,00119 |
| 37  | 0,1026                      | 16801    | 0,1538                                   | 0,014     | 71,6           | 3901           | 0,00098 |
| 38  | 0,0811                      | 21266    | 0,1207                                   | 0,0124    | 80,4           | 4971           | 0,00077 |
| 39  | 0,0621                      | 27775    | 0,0932                                   | 0,0109    | 91,6           | 6437           | 0,00059 |
| 40  | 0,0487                      | 35400    | 0,0723                                   | 0,0096    | 103,6          | 8298           | 0,00046 |
| 41  | 0,0397                      | 43405    | 0,0584                                   | 0,0086    | 115,7          | 10273          | 0,00038 |
| 42  | 0,0317                      | 54429    | 0,0456                                   | 0,0076    | 131,2          | 13163          | 0,0003  |
| 43  | 0,0245                      | 70308    | 0,0368                                   | 0,0069    | 145,8          | 16291          | 0,00023 |
| 44  | 0,0202                      | 85072    | 0,0316                                   | 0,0064    | 157,4          | 18957          | 0,0002  |

AWG Değerinin mm'ye çevrimi aşağıdaki gibi yapılır.

$$D = 25,4 (0,005 \times 92^{(36-AWG)/39}) \quad (5.4)$$

Örnek olarak AWG Değerini 14 olarak alırsak;

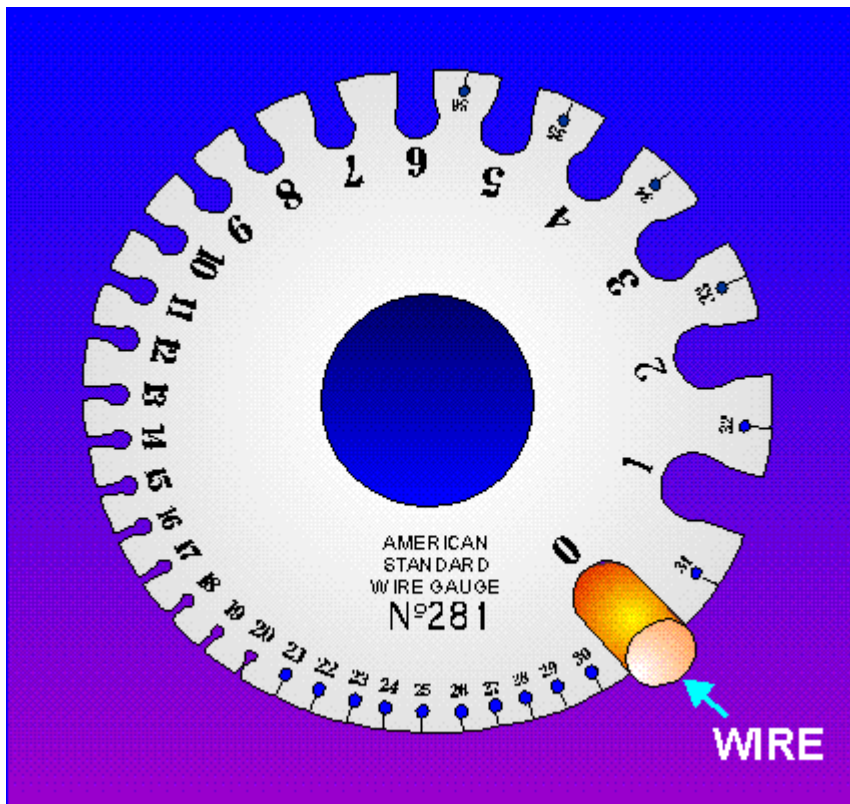
$$36 - 14 = 22$$

$$22 / 39 = 0,5641$$

$$92 (0,5641) = 12,82$$

$$0,005 \times 12,82 = 0,0641 \text{ ( Bu değer inç değeridir.)}$$

$$25,4 \times 0,0641 = 1,63 \text{ mm}$$



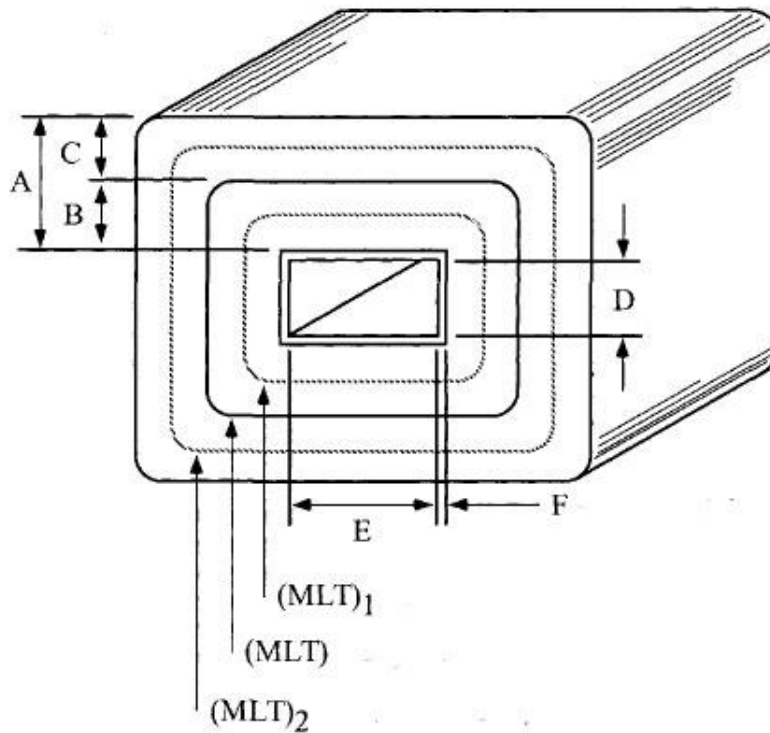
Şekil 5.14. AWG Ölçüm Tablası

Sargının yapıldığı bakır iletkenin kesit alanı  $A_{cu}$  ile temsil edilmektedir. İletken tek bir yuvarlak telden oluşmuş olabilir ya da her bir lifin bir kaç yüz ya da daha az mikronluk çapı olan litz teli gibi çok lifli özel bir iletken olabilir. Nüve sargı penceresindeki toplam sarım sayısı  $N$  ile iletken alanı  $A_{cu}$ 'nın çarpımı sargı penceresindeki toplam bakır alanı verir. Toplam bakır alanı birkaç nedenden dolayı sargı penceresinin  $A_{w(B)}$  alanından daha küçük olacaktır. Birinci neden, iletkenlerin genellikle yuvarlak olan geometrik şekli ve sargı yerleştirme sürecinde  $N$

adet iletkenin pencereyi tamamen doldurmasını engeller. İkinci neden ise iletkenin bitişik sarımlarının birbiriyle kısa devre yapmaması için elektriksel olarak yalıtkan malzemeye kaplı olması gereğidir. Bu yalıtım, sargı penceresine ilişkin alanın bir kısmını kaplar.

### 5.3. Ortalama Sarım Uzunluğu Hesaplaması

Bir sargının her bir sarımının uzunluğu doğal olarak farklıdır. İçteki bir sarımın uzunluğu, dışardaki bir sarıma göre kısadır. Bu nedenle Ortalama Sarım Uzunluğu (OSU; Mean Length of Turn - MLT) tanımı kullanılır. OSU, sarım direncinin ve verilen sarımların ağırlığının hesaplanması için gereklidir. Bir tüp ya da bobin makarasına yönelik OSU ile ilgili sarım boyutları Şekil 5-15’de gösterilmiştir.



Şekil 5.15. Ortalama Sarım Uzunluğu İle İlgili Sarım Boyutları

$$OSU = 2(D + 2F) + 2(E + 2F) + \pi A \quad (5.5)$$

$$OSU_1 = 2(D + 2F) + 2(E + 2F) + \pi B \quad (5.6)$$

$$OSU_2 = 2(D + 2F) + 2(E + 2F) + \pi (2B + C) \quad (5.7)$$

#### 5.4. Bakır Direnci

Sarımın direncinin hesaplanması için; iletkenin toplam uzunluğu  $l$ , iletkenin kesitsel alanı  $A_w$  ve iletken malzemein öz direnci  $\rho$ 'nun bilinmesi gereklidir.

$$R_{dc} = \left( \frac{\rho l}{A_w} \right), [\Omega] \quad (5.8)$$

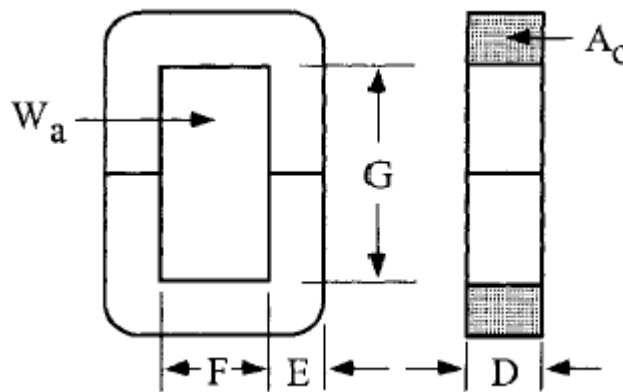
#### 5.5. Bakır Ağırlığı

Sarımın ağırlığının hesaplanması için iletkenin toplam uzunluğu  $l$ , iletkenin kesit alanı  $A_w$  ve iletkenin yoğunluğu  $\lambda$ 'nın bilinmesi gereklidir.

$$W_t = \lambda l A_w, [\text{gram}] \quad (5.9)$$

#### 5.6. Transformatör Alan Çarpanı (Area Product), $A_p$

Üretim alanı  $A_p$ ,  $\text{cm}^4$  boyutunda bir sonuca sahiptir ve genel olarak Şekil 5.16 da gösterildiği gibi hesaplanır.



Şekil 5.16. Pencere Alanı  $W_a$ , ve Çekirdek Alanı  $A_c$

$$W_a = FG, [\text{cm}^2] \quad (5.10)$$

$$A_c = DE, [\text{cm}^2] \quad (5.11)$$

$$A_p = W_a A_c, [\text{cm}^4] \quad (5.12)$$

### 5.6.1. Transformatör hacmi ve $A_p$

Bir transformatörün hacmi, transformatörün  $A_p$  değeriyle ilişkilidir. Şekil 5.17’de toroidal bir çekirdeğin, Şekil 5.18’de de EI tipi bir çekirdeğin hacmi gösterilmektedir. Hacim herhangi bir doğrusal boyutu simgeleyen  $l$ ’nin küpü ile değişir.  $A_p$  ise yukarıda bahsettiğimiz gibi  $l$ ’nin 4. kuvvetiyle değişir.

$$Hacim = K_1 l^3, [\text{cm}^3] \quad (5.13)$$

$$A_p = K_2 l^4, [\text{cm}^4] \quad (5.14)$$

$$l_4 = \frac{A_p}{K_2} \quad (5.15)$$

$$l = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.25} \quad (5.16)$$

$$l^3 = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.75} \quad (5.17)$$

$$Hacim = K_1 \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.75} \quad (5.18)$$

$$K_v = \frac{K_1}{K_2^{0.75}} \quad (5.19)$$

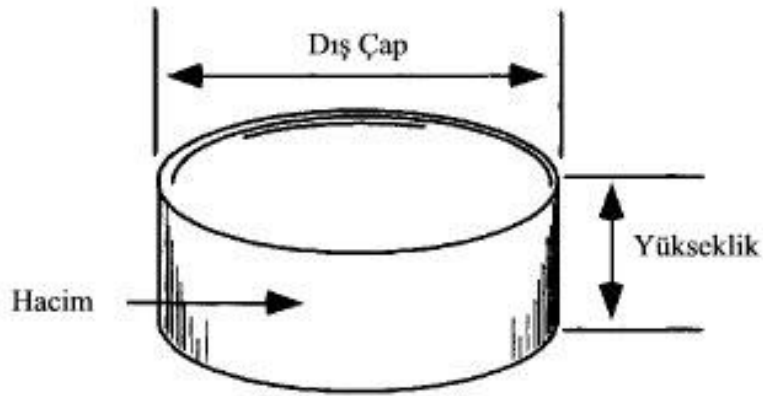
son durumda hacim;

$$Hacim = K_v (A_p)^{0.75} \quad (5.20)$$

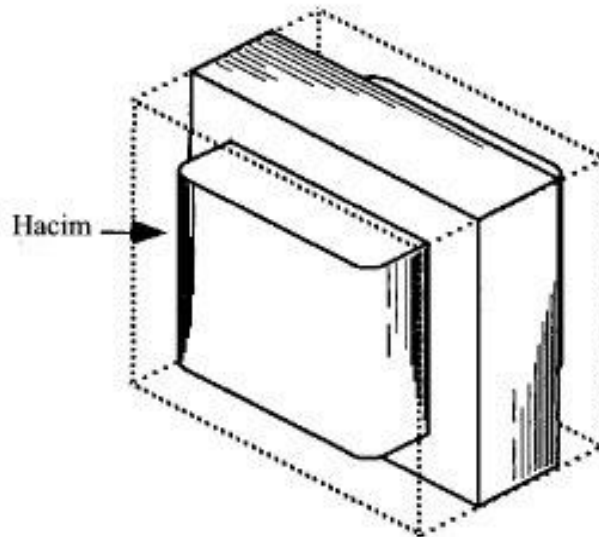
$K_v$  çekirdek yapısına bağlı olarak Çizelge 5.8’de gösterildiği gibi sabittir.

Çizelge 5.8. Çekirdek Yapısına Göre  $K_v$  Sabiti

| Çekirdek Yapısına Göre $K_v$ Sabiti |           |
|-------------------------------------|-----------|
| Çekirdek Şekli                      | $K_{vol}$ |
| Pot Nüve                            | 14,5      |
| Toz Nüve                            | 13,1      |
| Laminasyonlar                       | 19,7      |
| C Nüve                              | 17,9      |
| Tekli Bobinli C Nüve                | 25,6      |
| Baskı Sarımlı Nüve                  | 25,0      |



Şekil 5.17. Bant Sargı Toroidal Çekirdek Hacmi



Şekil 5.18. EI Tipi Bir Çekirdeğin Hacmi

### 5.6.2. Transformatör ağırlığı ve $A_p$

Transformatör toplam ağırlığı  $W_t$ ,  $A_p$ 'ye bağlı olarak yazılabilir. Ağırlık  $W_t$ , herhangi bir doğrusal boyutun küpüyle değişir.  $A_p$  alan çarpımı ise 4. dereceden kuvvet ile değişir.

$$W_t = K_3 l^3, [\text{gram}] \quad (5.21)$$

$$A_p = K_2 l^4, [\text{cm}^4] \quad (5.22)$$

$$l_4 = \frac{A_p}{K_2} \quad (5.23)$$

$$l = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.25} \quad (5.24)$$

$$l^3 = \left[ \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.25} \right]^3 = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.75} \quad (5.25)$$

$$W_t = \frac{K_3}{K_2^{0.75}} \quad (5.26)$$

$$K_w = \frac{K_3}{K_2^{0.75}} \quad (5.27)$$

Buradan ağırlık ile alan çarpımı arasındaki ilişki;

$$W_t = K_w (A_p)^{0.75} \quad (5.28)$$

$K_w$  çekirdek yapısına bağlı olarak Çizelge 5.9'da gösterildiği gibi sabittir.

Çizelge 5.9. Çekirdek Yapısına Göre  $K_w$  Sabiti

| Çekirdek Yapısına Göre $K_w$ Sabiti |       |
|-------------------------------------|-------|
| Çekirdek Şekli                      | $K_w$ |
| Pot Nüve                            | 48,0  |
| Toz Nüve                            | 58,8  |
| Laminasyonlar                       | 68,2  |
| C Nüve                              | 66,6  |
| Tekli Bobinli C Nüve                | 76,6  |
| Baskı Sarımlı Nüve                  | 82,3  |

### 5.6.3. Transformatör yüzey alanı ve $A_p$

Transformatör yüzey alanı  $A_t$  ve alan çarpımı arasındaki ilişkiyi elde etmek için Şekil 5.19 kullanılır. Yüzey alanı  $l$  doğrusal boyutunun karesiyle, alan çarpımı  $l$  doğrusal boyutunun 5. kuvvetiyle değişir.

$$A_t = K_4 l^2, [\text{cm}^2] \quad (5.29)$$

$$A_p = K_2 l^4, [\text{cm}^4] \quad (5.30)$$

$$l_4 = \frac{A_p}{K_2} \quad (5.31)$$

$$l = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.25} \quad (5.32)$$

$$l^2 = \left[ \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.25} \right]^2 = \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.50} \quad (5.33)$$

$$A_t = K_4 \left( \frac{A_p}{K_2} \right)^{0.50} \quad (5.34)$$

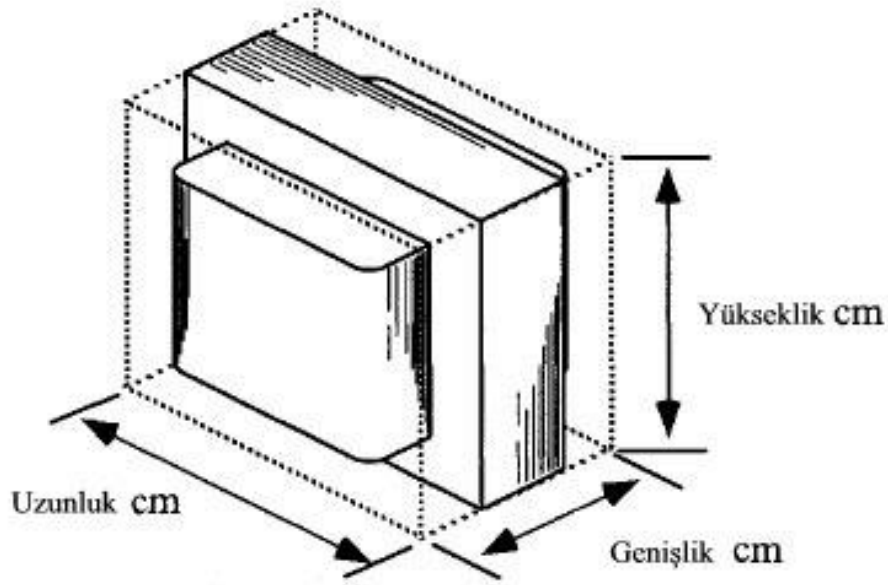
$$K_s = \frac{K_4}{K_2^{0.50}} \quad (5.35)$$

Buradan yüzey alanı ve alan çarpımı arasındaki ilişki;

$$A_t = K_s (A_p)^{0.50} \quad (5.36)$$

Çizelge 5.10. Yüzey Alanına Göre  $K_s$  Sabiti

| Çekirdek Yapısına Göre $K_v$ Sabiti |       |
|-------------------------------------|-------|
| Çekirdek Şekli                      | $K_g$ |
| Pot Nüve                            | 33,8  |
| Toz Nüve                            | 32,5  |
| Laminasyonlar                       | 41,3  |
| C Nüve                              | 39,2  |
| Tekli Bobinli C Nüve                | 44,5  |
| Baskı Sarımlı Nüve                  | 50,9  |



Şekil 5.19. EI Tipi Bir Çekirdeğin Yüzey Ölçümleri

### 5.7. Transformatör Verimi

Verim çıkış gücü  $P_0$  ile giriş gücü  $P_{in}$  arasındaki orana eşittir. Çıkış gücü  $P_0$  ile giriş gücü  $P_{in}$  arasındaki fark kayıplardan kaynaklanmaktadır. Transformatördeki kayıplar çekirdek kayıpları ve bakır kayıplarıdır.

$$P_{\Sigma} = P_{cu} + P_{fe}, [\text{watt}] \quad (5.37)$$

$$P_{in} = P_o + P_{\Sigma}, [\text{watt}] \quad (5.38)$$

$$\eta = \frac{P_0}{P_{in}} \quad (5.39)$$

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_{\Sigma}} \quad (5.40)$$

### 5.8. Yüzey Alanı $A_t$ deki Sıcaklık Dağılımı

Bir endüktans ve trafonun iç ve yüzey sıcaklığı normalde yaklaşık olarak eşit varsayılır. Bu varsayım, çekirdek ve sargıların hacmi boyunca güç kaybı yaklaşık olarak eşit biçimde dağıldığından yapılmaktadır.

Etkin yüzey alanı  $A_t$  olarak kabul edilirse;

$$A_t = \frac{P_{\Sigma}}{\psi}, [\text{cm}^2] \quad (5.41)$$

Burada  $\psi$ , yüzey alana düşen toplam transformatör kaybıdır.

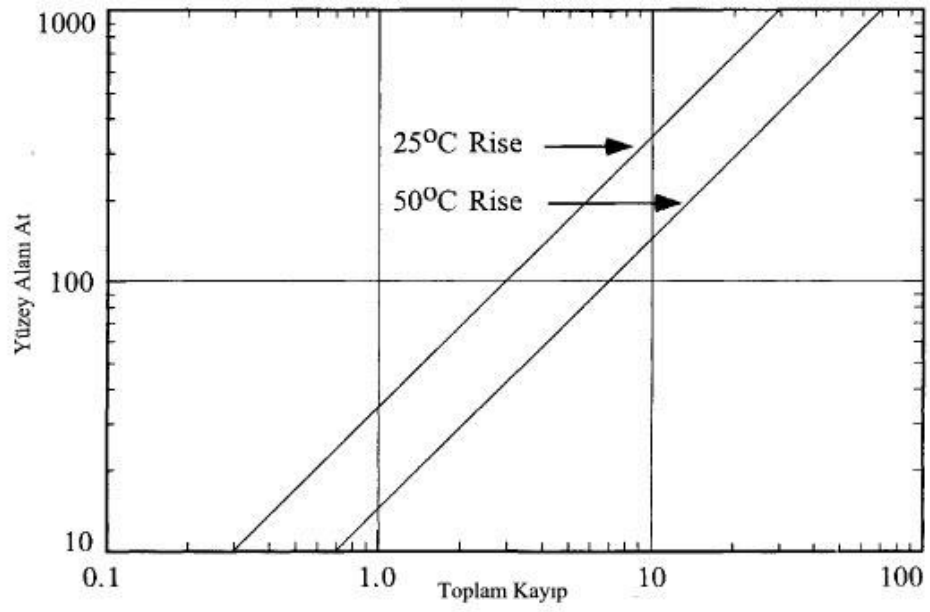
$$A_t = K_s (Ap)^{(0.5)} = \frac{P_{\Sigma}}{\psi} [\text{cm}^2]$$

$$\psi = 0.03, [25^{\circ}\text{C deki watt} / \text{cm}^2 \text{ oranı}]$$

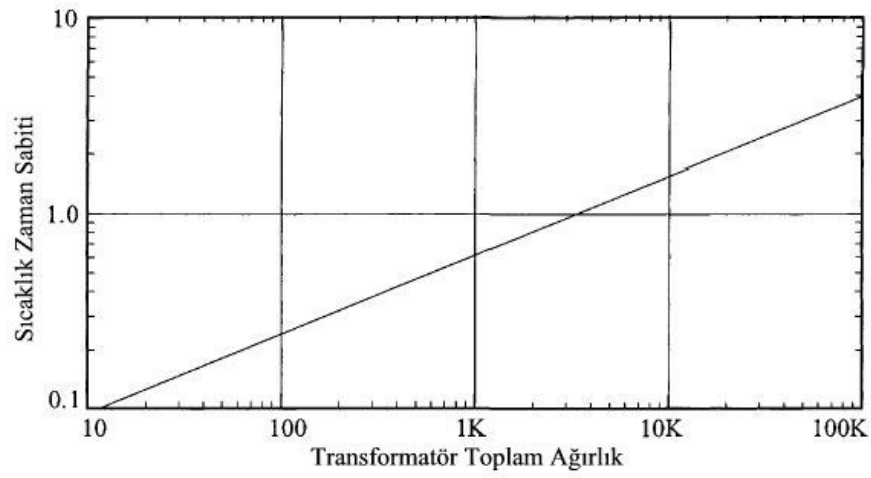
$$\psi = 0.07, [50^{\circ}\text{C deki watt} / \text{cm}^2 \text{ oranı}]$$

$^{\circ}\text{C}$  olarak sıcaklık artışı  $T_r$ ;

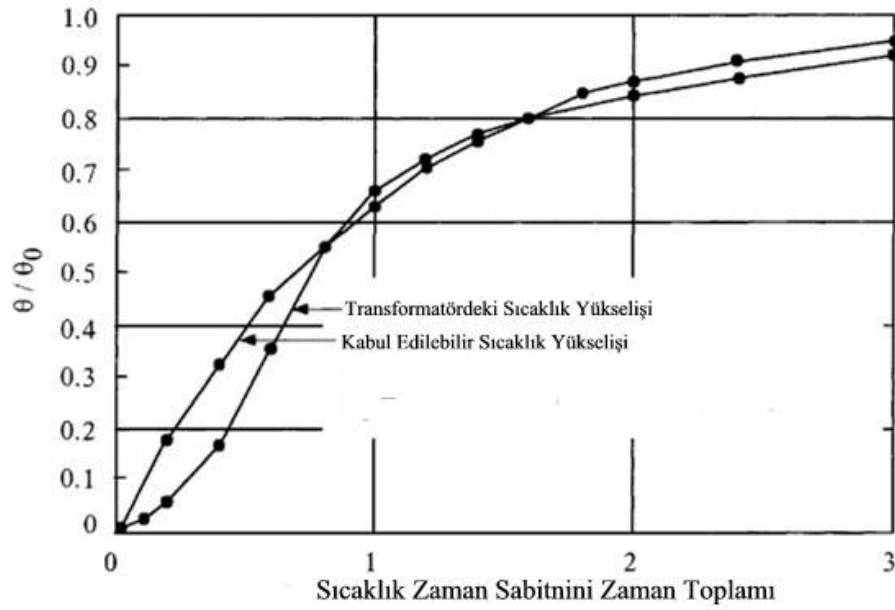
$$T_r = 450 (\psi)^{(0.826)} [^{\circ}\text{C}] \quad (5.42)$$



Şekil 5.20. 25°C ve 50°C deki Sıcaklık Değişimine Göre Yüzey Alan ile Toplam Kayıp Oranı



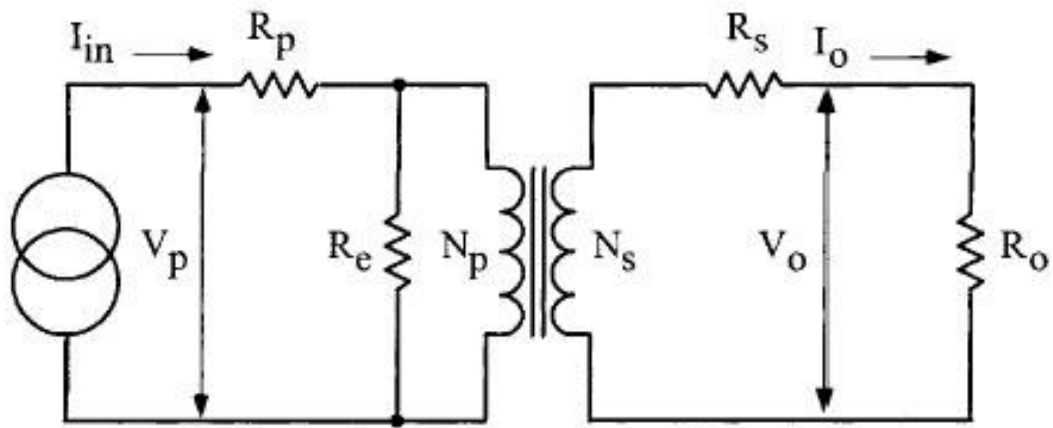
Şekil 5.21. Son Sıcaklık



Şekil 5.22. Transformator Sıcaklık Yükselme Zamanı

### 5.9. Regülasyon

Bir transformatorün minimum boyutu genellikle onun sıcaklık yüksekliği veya gerilim regülasyonu ile kararlılığını belirler. Şekil 5.23'de bir transformatorün devre diyagramı gösterilmiştir. Sarım geometrisi tasarımında kaçak endüktans sınırı yeterince azdır ve bir çok hesaplama da ihmal edilirler.



Şekil 5.23. Transformator Devre Diyagramı

Sekonderdeki kapasitans ihmal edilebilir olarak kabul edilir. Çünkü sekonder gerilimi ve frekans aşırı yüksek değildir.

Transformatör gerilim regülasyonu aşağıdaki gibi belirtilir.

$$\alpha = \frac{V_{0(N.L.)} - V_{0(F.L.)}}{V_{0(F.L.)}} (100) \quad [\%] \quad (5.43)$$

Burada  $V_{0(N.L.)}$  yüksüz gerilimi,  $V_{0(F.L.)}$  ise tam yükteki gerilim değerini belirler. Burada hesaplamalarda kolaylık olsun diye Şekil 5.23'deki  $R_e$  direncini sonsuz kabul edersek transformatörün dönüşüm oranını 1:1 olduğu varsayılırsa;

$$I_{in} = I_{out}$$

$$R_p = R_s$$

Dönüştürme oranının 1:1 olduğu göz önüne alındığında primer ve sekonderde akım yoğunluğu  $J$  aynı olduğu anlaşılır;

$$\Delta V_p = I_{in} R_p = \Delta V_p = I_0 R_s$$

$$\alpha = \frac{\Delta V_p}{V_p} (100) + \frac{\Delta V_p}{V_p} (100)$$

Eşitliğin her iki tarafını da  $I$  akım değerleriyle çarparsak;

$$\alpha = \frac{\Delta V_p I_{in}}{V_p I_{in}} (100) + \frac{\Delta V_p I_0}{V_p I_0} (100)$$

Primer Bakır Kaybı;

$$P_p = \Delta V_p I_{in}$$

Sekonder Bakır Kayıbı;

$$P_s = \Delta V_s I_{out}$$

Bu durumda toplam kayıp;

$$P_{cu} = P_p + P_s$$

Böylece regülasyon değeri yeniden yazılırsa;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%] \quad (5.44)$$

## 6. GÜÇ TRANSFORMATÖRÜ TASARIMI

Güç transformatörlerinin tasarımında toplam sistem ağırlığı, güç dönüşümü verimliliği ve maliyetin önemli etkisi vardır. Parametrelerin birbirlerine bağlı olmasından ve aralarında etkileşimin olmasından dolayı tasarım optimizasyonun sağlanması için makul değerlendirmeler elde edilmesi gereklidir.

Transformatör tasarımının temel adımlarından bir tanesi; uygun çekirdek malzemesinin seçilmesidir. Düşük ve yüksek frekanslı transformatörlerin tasarlanmasında kullanılan manyetik malzemeler Çizelge 6.1’de gösterilmiştir. Bu malzemelerin her birinin kendine özgü maliyet, büyüklük, frekans ve verimlilik spektrumu açısından optimum noktaları vardır. Silikon - demir, nikel - demir, camısı ve ferrit malzemeler arasında maliyet farkı gözetilmelidir. Diğer kısıtlamalar ise ağırlığın azaltılmasının günümüz elektroniğinde önemli amaç olmasından dolayı transformatör tarafından özellikle hava sahası uygulamalarında kapladığı yerin hacmi ile ilgilidir. Son olarak, ekonomiklik her zaman dikkate alınan en önemli unsurdur.

Çizelge 6.1. Manyetik Malzemeler

| Manyetik Malzemelerin Özellikleri |                 |                               |                               |                           |
|-----------------------------------|-----------------|-------------------------------|-------------------------------|---------------------------|
| Maddenin Adı                      | Markası Oluşumu | Başlangıç Geçirgenlik $\mu_i$ | Akışkan Yoğunluğu Tesla $B_s$ | Tipik Çalıştırma Frekansı |
| Silikon                           | 3-97 SiFe       | 1500                          | 1,5-1,8                       | 50-2k                     |
| Ortonol                           | 50-50 NiFe      | 2000                          | 1,42 – 1,58                   | 50-2k                     |
| Mıknatıs alaşımı                  | 80-20 NiFe      | 25000                         | 0,66 -0,82                    | 1k-25k                    |
| Camsı                             | 2605SC          | 1500                          | 1,5 – 1,6                     | 250k                      |
| Camsı                             | 2714A           | 20,000                        | 0,5 – 6,5                     | 250k                      |
| Camsı                             | Nanokristal     | 30,000                        | 1,0 -1,2                      | 250k                      |
| Ferrit                            | MnZn            | 0,75 – 15k                    | 0,3 – 0,5                     | 10k-2M                    |
| Ferrit                            | NiZn            | 0,20 – 1,5k                   | 0,3 – 0,4                     | 0,2M-100M                 |

### 6.1. Çıkış Gücü $P_o$ ve Görünen Güç $P_t$ Kapasitesinin Karşılaştırılması

Çıkış gücü,  $P_o$  kullanıcı açısından son derece önemlidir. Transformatör tasarımı

açısından transformatörün geometrisi  $K_g$  ile ilgili görünen güç  $P_t$ , son derece önemlidir. Güç transformatörü primeri,  $P_{in}$  ve  $P_o$ 'yu içerecek şekilde tasarlanmak zorunda olduğuna göre;

$$P_t = P_{in} + P_o \text{ [watt]} \quad (6.1)$$

$$P_{in} = \frac{P_o}{\eta} \text{ [watt]} \quad (6.2)$$

Faraday Kanunundan yola çıkarak primer sargı sayısı hesaplanacak olursa;

$$N_p = \frac{V_p (10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \text{ [sarımlar]} \quad (6.3)$$

Tam kullanımda transformatör sargı alanı;

$$K_u W_a = N_p A_{wp} + N_s A_{ws} \quad (6.4)$$

Bu tanımla kablo alanı;

$$A_w = \frac{I}{J} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (6.5)$$

Bu iki eşitliği yeniden düzenleyecek olursak;

$$K_u W_a = N_p \left( \frac{I_p}{J} \right) + N_s \left( \frac{I_s}{J} \right) \quad (6.6)$$

Bu eşitliğe Faraday Kanunundan yola çıkarak elde ettiğimiz eşitliği de katarsak;

$$K_u W_a = \frac{V_p (10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \left( \frac{I_p}{J} \right) + \frac{V_s (10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \left( \frac{I_s}{J} \right) \quad (6.7)$$

Eşitliği yeniden düzenleyecek olursak;

$$W_a A_c = \frac{(V_p I_p) + (V_s I_s) (10^4)}{B_{ac} f J K_f K_u} \quad [\text{cm}^4] \quad (6.8)$$

P<sub>0</sub> Çıkış Gücü;

$$P_0 = V_s I_s \quad [\text{watt}] \quad (6.9)$$

P<sub>in</sub> Giriş Gücü;

$$P_{in} = V_p I_p \quad [\text{watt}] \quad (6.10)$$

Böylece Görünür Güç P<sub>t</sub>;

$$P_t = P_{in} + P_0 \quad [\text{watt}] \quad (6.11)$$

Görünür Gücü P<sub>t</sub> yi formüle eklersek;

$$W_a A_c = \frac{P_t (10^4)}{B_{ac} f J K_f K_u} \quad [\text{cm}^4] \quad (6.12)$$

A<sub>p</sub> eşitliğini de formülde düzenlersek;

$$A_p = W_a A_c \quad [\text{cm}^4] \quad (6.13)$$

Böylece formülü yeniden yazacak olursak;

$$A_p = \frac{P_t (10^4)}{B_{ac} f J K_f K_u} \quad [\text{cm}^4] \quad (6.14)$$

Burada  $K_f$  dalga formu katsayısıdır. Sinüs dalgası için  $K_f = 4,44$  iken kare dalga için  $K_f = 4,0$  dır.

## 6.2. Güç Transformatör Düzenleme Kapasitesi (Regülasyon) ile Nüve Geometrisi $K_g$ Arasındaki İlişkisi

Transformatörler tasarlanırken regülasyon ve sıcaklık artışları göz önüne alınarak tasarlanırlar. Regülasyon ve demir çekirdek güç kapasitesi iki sabite bağlıdır.

$$\alpha = \frac{P_t}{2K_g K_e} \quad [\%] \quad (6.15)$$

$\alpha = \%$  cinsinden regülasyon değeridir.

Burada sabitlerden biri olan  $K_g$  çekirdek geometrisini tanımlar.

$$K_g = \frac{W_a A_c^2 K_u}{MLT} \quad [\text{cm}^5] \quad (6.16)$$

Diğer sabit  $K_e$  ise manyetik ve elektriksel uygulama kapasitesini tanımlar.

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4}) \quad B_m = B_{ac} \quad (6.17)$$

Yukarıdan anlaşıldığı üzere, akım yoğunluğu, frekans ve dalga formu kat sayısı gibi faktörlerin transformatör büyüklüğü üzerindeki etkisi görülebilir.

## 6.3. Transformatör Güç Kullanım Kapasitesi ile $A_p$ İlişkisi

Çekirdeğin güç kullanım kapasitesi aşağıda belirtildiği gibi  $A_p$  ile ilgilidir.

$$A_p = \frac{P_t (10^4)}{K_f K_u B_m J_f} \quad [\text{cm}^4] \quad (6.18)$$

Akım yoğunluğu, frekans ve pencere kullanım faktörü  $K_u$  gibi faktörlerin pencere içerisindeki bakır tarafından oluşturulan maksimum alanı gösterebildiği görülebilir.

#### 6.4. Güç Transformatörü Tasarım Tüm Parametreleri

Yukarıdaki eşitlikleri göz önüne alarak transformatör parametrelerini aşağıdaki gibi elde edebiliriz.

Görünür Güç  $P_t$  ;

$$P_t = P_0 \left( \frac{1}{\eta} + 1 \right) \quad [\text{watt}] \quad (6.19)$$

Elektriksel Durum  $K_e$ ;

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4}) \quad (6.20)$$

Nüve Geometrisi  $K_g$ ;

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e \alpha} \quad [\text{cm}^5] \quad (6.21)$$

Elde Edilen  $K_g$  değerine göre tasarımı düşünülen Transformatörün hangi laminasyon şekli seçilmişse, o laminasyona ait olan Çizelge 4.2. Çizelge 4.4. Çizelge 4.6 ve Çizelge 4.8 deki en yakın  $K_g$  değeri alınır ve böylece bu  $K_g$  değerinde ki demir ağırlığı  $W_{tfe}$ , ortalama sarım uzunluğu OSU, çekirdek kesit alanı  $A_c$ , pencere alanı  $W_a$ , alan çarpanı  $A_p$  ve yüzey alanı  $A_t$  değerleri elde edilir.

Primer Sarım Sayısı  $N_p$ ;

$$N_p = \frac{V_p (10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \text{ [sarım]} \quad (6.22)$$

Akı Yoğunluğu J;

$$J = \frac{P_t (10^4)}{K_f K_u B_{ac} f A_p} \text{ [Amp / cm}^2\text{]} \quad (6.23)$$

Giriş Akımı  $I_{in}$ ;

$$I_{in} = \frac{P_0}{V_{in} \eta} \text{ [Amp]} \quad (6.24)$$

Primer Boş Kablo Alanı  $A_{wp(B)}$ ;

$$A_{wp(B)} = \frac{I_{in}}{J} \text{ [cm}^2\text{]} \quad (6.25)$$

Bu aşamada elde edilen  $A_{wp(B)}$  değerine göre Çizelge 5.7'deki AWG bakır tel tablosundan primer bakır tel için AWG değeri ve bununla birlikte  $A_{wp(B)}$ ,  $A_{wp}$ ,  $\frac{\mu\Omega}{cm}$  ve çap değerleri elde edilir.

Primer Sargı Direnci  $R_p$ ;

$$R_p = MLT(N_p) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \text{ [ohm]} \quad (6.26)$$

Primer Bakır Kaybı  $P_p$ ;

$$P_p = I_p^2 R_p \text{ [watt]} \quad (6.27)$$

Sekonder Sarım Sayısı  $N_s$ ;

$$N_s = \frac{N_p V_{out}}{V_{in}} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad [\text{sarım}] \quad (6.28)$$

Sekonder Boş Kablo Alanı  $A_{ws(B)}$ ;

$$A_{ws(B)} = \frac{I_0}{J} \quad ,[\text{cm}^2] \quad (6.29)$$

Bu aşamada elde edilen  $A_{ws(B)}$  değerine göre Çizelge 5.7'deki AWG bakır tel tablosundan sekonder bakır tel için AWG değeri ve bununla birlikte  $A_{ws(B)}, A_{ws}, \frac{\mu\Omega}{\text{cm}}$  ve çap değerleri elde edilir.

Sekonder Sargı Direnci  $R_s$ ;

$$R_s = MLT(N_s) \left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}] \quad (6.30)$$

Sekonder Bakır Kayıbı  $P_s$ ;

$$P_s = I_0^2 R_s \quad [\text{watt}] \quad (6.31)$$

Toplam Bakır Kayıbı  $P_{cu}$ ;

$$P_{cu} = P_p + P_s \quad ,[\text{watt}] \quad (6.32)$$

Transformatör Regülasyon Sabiti  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%] \quad (6.33)$$

Kilogram başına düşen Kayıp W/K;

$$W / K = 0,000557(f)^{1.68} (B_{ac})^{1.86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}] \quad (6.34)$$

Toplam Demir Kayıpları  $P_{fe}$ ;

$$P_{fe} = (W / K)(W_{tfe})(10^{-3}) \quad [\text{watt}] \quad (6.35)$$

Transformatör Toplam Kayıbı  $P_{\Sigma}$ ;

$$P_{\Sigma} = P_{cu} + P_{fe} \quad [\text{watt}] \quad (6.36)$$

Birim Alana Düşen Kayıp  $\psi$ ;

$$\psi = \frac{P_{\Sigma}}{A_t} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2] \quad (6.37)$$

Sıcaklık Artışı  $T_r$ ;

$$T_r = 450 (\psi)^{(0,826)} \quad [^{\circ}\text{C}] \quad (6.38)$$

Toplam Pencere Kullanımı  $K_u$ ;

$$K_u = K_{up} + K_{us} \quad (6.39)$$

$$K_{us} = \frac{N_s A_{ws(B)}}{W_a} \quad (6.40)$$

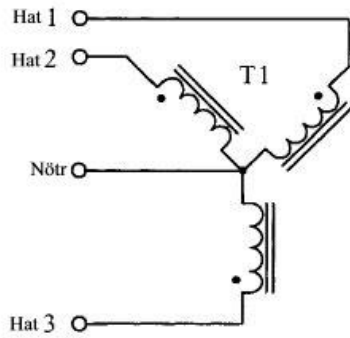
$$K_p = \frac{N_p A_{wp(B)}}{W_a} \quad (6.41)$$

Elde edilen bu eşitliklerle güç transformatörünün teorik olarak tasarımı gerçekleştirilebilir.

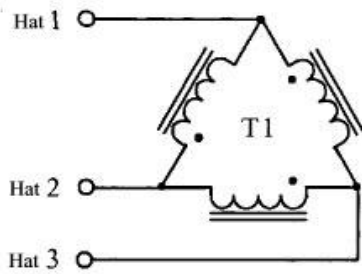
## 6.5. Üç Fazlı Güç Transformatörü Parametreleri

### 6.5.1. Üç fazlı trafo bağlantı çeşitleri

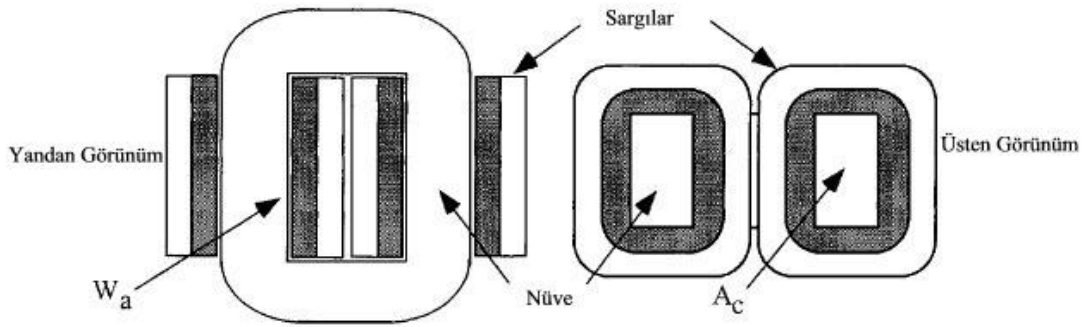
Üç fazlı transformatörlerde primer akımlar için kullanılan 2 çeşit bağlantı çeşidi vardır. Bunlar Şekil 6.1’de gösterildiği gibi yıldız (Y) bağlantı ve bir diğeri ise Şekil 6.2’ de gösterildiği gibi üçgen (delta) veya  $\Delta$  bağlantıdır.



Şekil 6.1. Üç Fazlı Transformatör İçin Yıldız (Y) Bağlantı



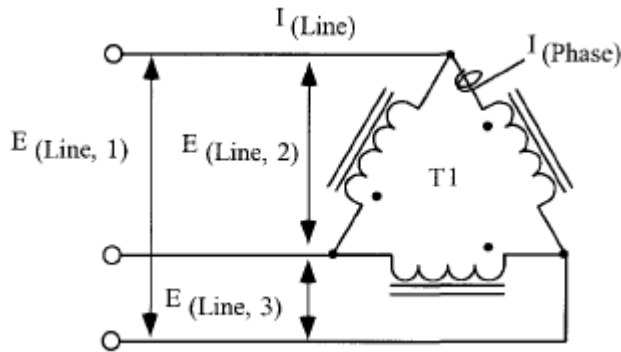
Şekil 6.2. Üç Fazlı Transformatör İçin Üçgen Bağlantı



Şekil 6.3. Üç Fazlı Transformatörün Kesit Görüntüsü

### 6.5.2. Yıldız ve üçgen bağlantı sistemlerinde faz akımı, hat akımı ve gerilimi

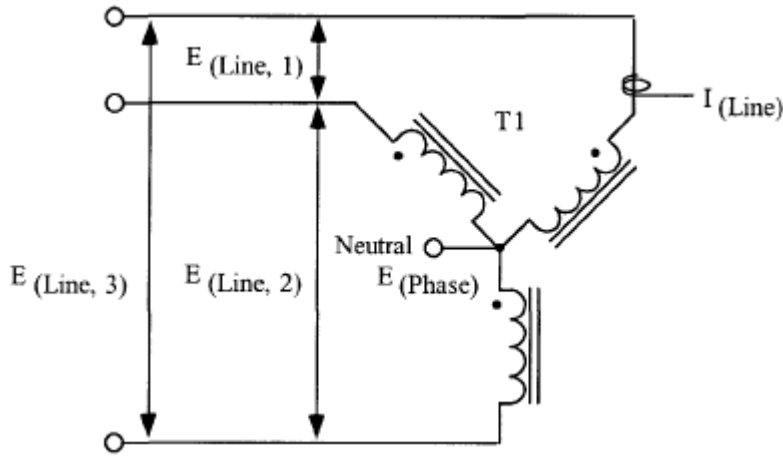
Üç fazlı transformatör üçgen bağlantı faz akımları, faz gerilimleri, hat akımları ve hat gerilimleri Şekil 6.4’de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi üçgen bağlantı hat gerilimi faz gerilimine eşit iken hat akımı faz akımının  $\sqrt{3}$  katına eşittir.



Şekil 6.4. Üç Fazlı Transformatör Üçgen Bağlantı Akım ve Gerilim Diyagramı

$$I_{(line)} = I_{(phase)} \sqrt{3} \quad [\text{Amp}] \quad (6.42)$$

Üç fazlı transformatör yıldız bağlantı faz akımları, faz gerilimleri, hat akımları ve hat gerilimleri Şekil 6.5’ de gösterilmiştir. Şekilde de görüldüğü gibi üçgen bağlantı hat akımı faz akımına eşit iken hat gerilimi faz geriliminin  $\sqrt{3}$  katına eşittir.

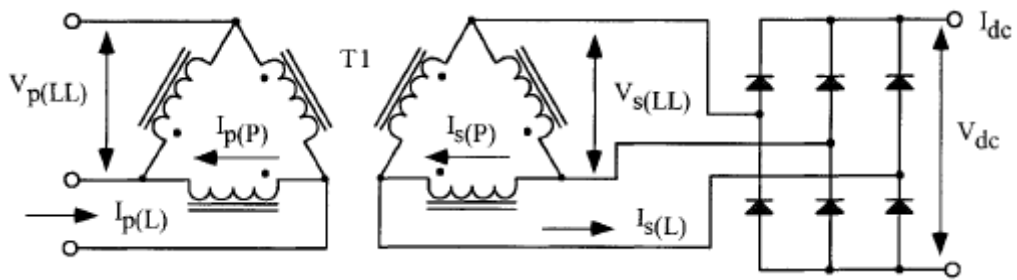


Şekil 6.5. Üç Fazlı Transformatör Yıldız Bağlantı Akım ve Gerilim Diyagramı

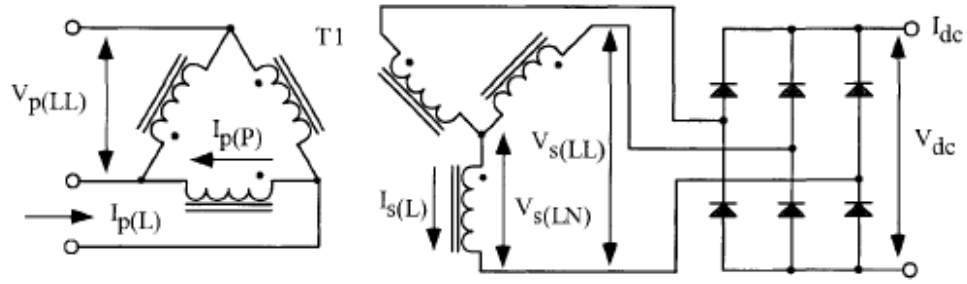
$$E_{(phase)} = \frac{E_{(line)}}{\sqrt{3}} \quad [\text{Volt}] \quad (6.43)$$

### 6.5.3. Çeşitli Bağlantı Şekillerinde Çok Fazlı Doğrultucu Devreler

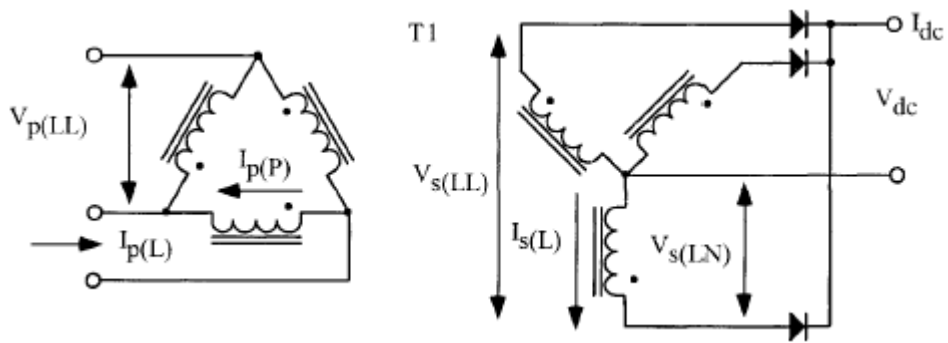
Aşağıdaki şekillerde çeşitli bağlantı şekillerine göre trafolar gösterilmiş olup üç faz doğrultucu devre oranları Çizelge 6.2’de gösterilmiştir.



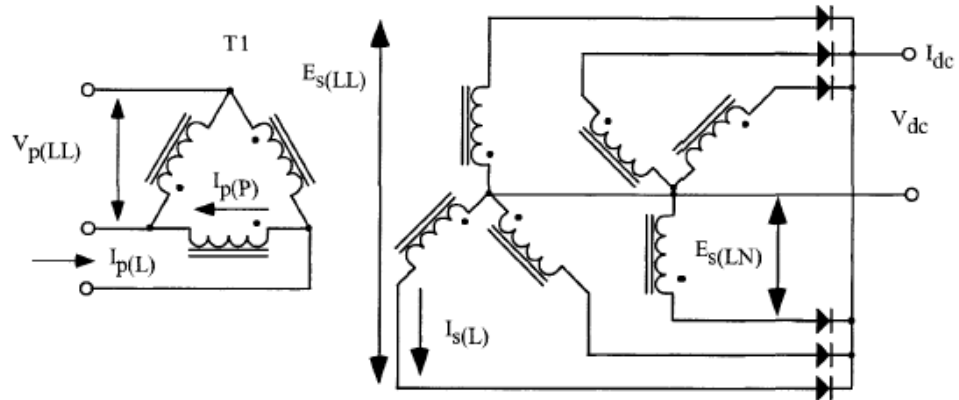
Şekil 6.6. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Üçgen Tam Köprü



Şekil 6.7. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız Tam Köprü



Şekil 6.8. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız Yarımc Köprü



Şekil 6.9. Üç Fazlı Transformatör Üçgen-Yıldız 6 Faz Yıldız

Çizelge 6.2. Doğrultucu Devreler İçin Üç Faz Gerilim ve Akım Oranları

| Three Phase Rectifier Circuit Data                                   |                  |   |                           |
|----------------------------------------------------------------------|------------------|---|---------------------------|
| Delta-Delta Full Wave,                                               |                  |   |                           |
| Item                                                                 | Factor           |   |                           |
| Primary VA                                                           | 1.050            | x | dc watts output           |
| Secondary V/ leg                                                     | 0.740            | x | average dc output voltage |
| Secondary I/leg                                                      | 0.471            | x | average dc output current |
| Secondary VA                                                         | 1.050            | x | dc watts output           |
| Ripple Voltage %                                                     | 4.200            |   |                           |
| Ripple Frequency                                                     | 6f               |   |                           |
| Delta-Wye Full Wave,                                                 |                  |   |                           |
| Item                                                                 | Factor           |   |                           |
| Primary VA                                                           | 1.050            | x | dc watts output           |
| Secondary Line to Line                                               | 0.740            | x | average dc output voltage |
| Secondary V/ leg                                                     | 0.428 to Neutral | x | average dc output voltage |
| Secondary I/leg                                                      | 0.817            | x | average dc output current |
| Secondary VA                                                         | 1.050            | x | dc watts output           |
| Ripple Voltage %                                                     | 4.200            |   |                           |
| Ripple Frequency                                                     | 6f               |   |                           |
| Delta-Wye Half Wave,                                                 |                  |   |                           |
| Item                                                                 | Factor           |   |                           |
| Primary VA                                                           | 1.210            | x | dc watts output           |
| Secondary Line to Line                                               | 0.740            | x | average dc output voltage |
| Secondary V/ leg                                                     | 0.855 to Neutral | x | average dc output voltage |
| Secondary I/leg                                                      | 0.577            | x | average dc output current |
| Secondary VA                                                         | 1.480            | x | dc watts output           |
| Ripple Voltage %                                                     | 18.000           |   |                           |
| Ripple Frequency                                                     | 3f               |   |                           |
| Delta-Wye 6 Phase Half Wave,                                         |                  |   |                           |
| Item                                                                 | Factor           |   |                           |
| Primary VA                                                           | 1.280            | x | dc watts output           |
| Secondary Line to Line                                               | 1.480            | x | average dc output voltage |
| Secondary V/ leg                                                     | 0.740 to Neutral | x | average dc output voltage |
| Secondary I/leg                                                      | 0.408            | x | average dc output current |
| Secondary VA                                                         | 1.810            | x | dc watts output           |
| Ripple Voltage %                                                     | 4.200            |   |                           |
| Ripple Frequency                                                     | 6f               |   |                           |
| Root mean square values to the average dc.                           |                  |   |                           |
| Sine-wave , infinite inductance, no transformer or rectifier losses. |                  |   |                           |

#### 6.5.4. Üç fazlı transformatör tasarımı tüm parametreleri

Üç Fazlı Transformatör tasarımında, transformatörün bağlantı şekli ve doğrultucu devre göz önüne alınarak aşağıdaki parametreler elde edilir:

Üç Fazlı üçgen – üçgen bağlantılı tam dalga doğrultucu bir devre için ;

Çıkış Gücü  $P_0$ ;

$$P_0 = I_0 (V_0 + 2V_d) \quad [\text{watt}] \quad (6.44)$$

Görünür Güç  $P_t$ ;

$$P_t = P_0 \left( \frac{P_{VA}}{\eta} + S_{VA} \right) \quad [\text{watt}] \quad (6.45)$$

Burada  $P_{VA}$  ve  $S_{VA}$  değerleri Çizelge 6.2'den bulunur. Üç fazlı üçgen-üçgen bağlantı tam köprü doğrultucu devre için bu değerler  $P_{VA} = 1.050$  ve  $S_{VA} = 1.050$ 'dir.

Elektriksel Durum  $K_e$ ;

$$K_e = 2,86 f^2 B^2 (10^{-4}) \quad (6.46)$$

Nüve Geometrisi  $K_g$ ;

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e \alpha} \quad [\text{cm}^5] \quad (6.47)$$

Elde edilen  $K_g$  değerine göre tasarımı düşünülen transformatörün hangi laminasyon şekli seçilmişse, o laminasyona ait olan Çizelge 4.10. Çizelge 4.12 ve Çizelge 4.14 deki en yakın  $K_g$  değeri alınır ve böylece bu  $K_g$  değerindeki demir ağırlığı  $W_{tfe}$ , OSU, çekirdek kesit alanı  $A_c$ , pencere alanı  $W_a$ , alan çarpanı  $A_p$  ve yüzey alanı  $A_t$  değerleri elde edilir.

Primer Sarım Sayısı  $N_p$ ;

$$N_p = \frac{V_{p(line)} (10^4)}{K_f B_{ac} A_c f} \quad [\text{sarım}] \quad (6.48)$$

Burada  $K_f$  ; sinüs dalga için 4.44. kare dalga için 4.00 değerindedir.

Primer Hat Akımı  $I_{P(line)}$ ;

$$I_{P(line)} = \frac{P_0}{3V_{P(line)}\eta} \quad [\text{Amp}] \quad (6.49)$$

Primer Faz Akımı  $I_{P(phase)}$ ;

$$I_{P(phase)} = \frac{I_{P(line)}}{\sqrt{3}} \quad [\text{Amp}] \quad (6.50)$$

Primer Boş Kablo Alanı  $A_{WP(B)}$ ;

$$A_{wp(B)} = \left( \frac{K_{up} W_a}{4N_p} \right) \quad [\text{cm}^2] \quad (6.51)$$

Bu aşamada elde edilen  $A_{wp(B)}$  değerine göre Çizelge 5.7'deki AWG bakır tel tablosundan primer bakır tel için AWG değeri ve bununla birlikte  $A_{WP(B)}$ ,  $A_{wp}$ ,  $\frac{\mu\Omega}{cm}$  ve çap değerleri elde edilir.

Primer Sargı Direnci  $R_p$ ;

$$R_p = MLT(N_p) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}] \quad (6.52)$$

Toplam Primer Bakır Kaybı  $P_p$ ;

$$P_p = 3(I_{P(phase)})^2 R_p \quad [\text{watt}] \quad (6.53)$$

Sekonder Sarım Sayısı  $N_s$ ;

$$N_s = \frac{N_p V_s}{V_p} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad [\text{sarım}] \quad (6.54)$$

Sekonder Boş Kablo Alanı  $A_{ws(B)}$ ;

$$A_{ws(B)} = \left( \frac{K_{us} W_a}{4N_s} \right) \quad [\text{cm}^2] \quad (6.55)$$

Bu aşamada elde edilen  $A_{ws(B)}$  değerine göre Çizelge 5.7'deki AWG bakır tel tablosundan sekonder bakır tel için AWG değeri ve bununla birlikte  $A_{ws(B)}$ ,  $A_{ws}$ ,  $\frac{\mu\Omega}{cm}$  ve çap değerleri elde edilir.

Sekonder Sargı Direnci  $R_s$ ;

$$R_s = MLT(N_s) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}] \quad (6.56)$$

Sekonder Hat Akımı  $I_{S(\text{line})}$ ;

$$I_{S(\text{line})} = (0,471) I_0 \quad [\text{Amp}] \quad (6.57)$$

Sekonder Faz Akımı  $I_{S(\text{phase})}$ ;

$$I_{S(\text{phase})} = \frac{I_{s(\text{line})}}{\sqrt{3}} \quad [\text{Amp}] \quad (6.58)$$

Toplam Sekonder Bakır Kayıbı  $P_s$ ;

$$P_s = 3(I_{s(\text{phase})})^2 R_s \quad [\text{watt}] \quad (6.59)$$

Transformatör Regülasyon Sabiti  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%] \quad (6.60)$$

Kilogram başına düşen Kayıp  $W / K$ ;

$$W / K = 0,000557(f)^{1,68} (B_{ac})^{1,86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}] \quad (6.61)$$

Toplam Demir Kayıpları  $P_{fe}$ ;

$$P_{fe} = (W / K)(W_{tfe})(10^{-3}) \quad [\text{watt}] \quad (6.62)$$

Toplam Transformatör Kayıbı  $P_\Sigma$ ;

$$P_\Sigma = P_p + P_s + P_{fe} \quad [\text{watt}] \quad (6.63)$$

Transformatör Verimi  $\eta$  ;

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_\Sigma} (100) \quad [\%] \quad (6.64)$$

Birim Alana Düşen Kayıp  $\psi$ ;

$$\psi = \frac{P_\Sigma}{A_t} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2] \quad (6.65)$$

Sıcaklık Artışı  $T_r$ ;

$$T_r = 450 (\psi)^{(0,826)} [^{\circ}\text{C}] \quad (6.66)$$

Toplam Pencere Kullanımı  $K_u$ ;

$$K_u = K_{up} + K_{us} \quad (6.67)$$

$$K_{us} = \frac{4N_s A_{ws(B)}}{W_a} \quad (6.68)$$

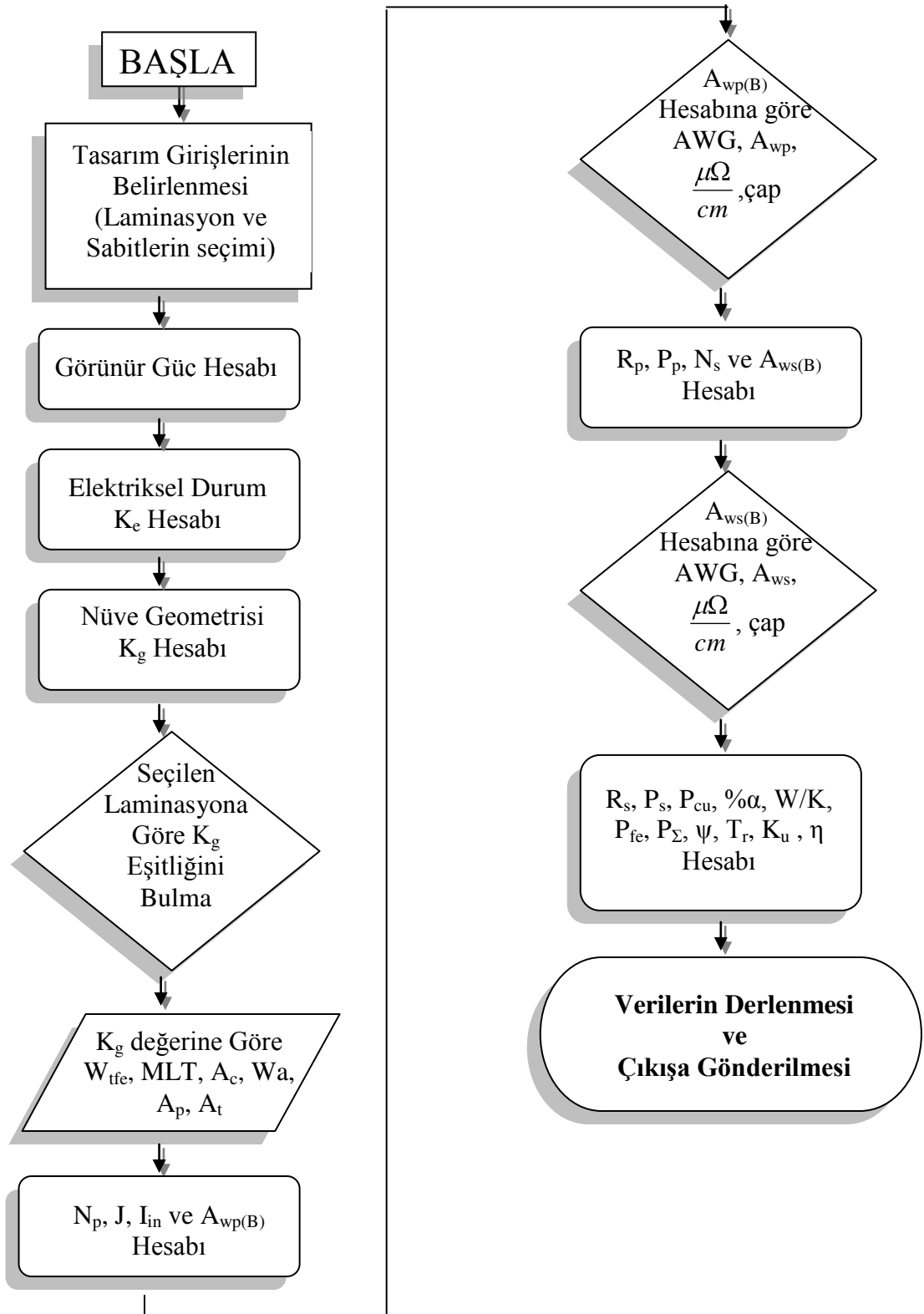
$$K_p = \frac{4N_p A_{wp(B)}}{W_a} \quad (6.69)$$

Elde edilen bu eşitliklerle üç fazlı güç transformatörünün teorik olarak tasarımı gerçekleştirilebilir.

## 6.6. Transformatör Tasarım Aşamaları ve Tasarım Tabloları

### 6.6.1. Transformatör tasarım akış diyagramı

Bir fazlı transformatörün tasarımında aşağıdaki aşamalar uygulanır ve hesaplamalar yapılır.



Şekil 6.10. Transformör Tasarım Diyagramı

### 6.6.2. Transformatör tasarımı program tasarım tabloları

Transformatör tasarım programında Şekil 6.11’de görüldüğü gibi tasarlanacak transformatörün kaç fazlı olacağı belirlenir ve o faza göre hesaplama ekranına geçilir.



Şekil 6.11. Transformatör Tasarım Ana Ekranı

Şekil 6.11’deki tasarım ekranından tek fazlı transformatör tasarımı, üç fazlı transformatör tasarımı, tek fazlı transformatör tasarımı sabitleri sayfası ve üç fazlı transformatör tasarımı sabitleri sayfasına geçiş yapılabilir.

Tek Fazlı Tek Fazlı Sabitler Üç Fazlı Üç Fazlı Sabitler

Laminasyon Değeri: 3 Laminasyon

Grig Voltajı Vin: 115 Volt

Çıkış Voltajı Vout: 115 Volt

Çıkış Akımı Iout: 2,17 Amper

Çıkış Gücü Pout: 250 Watt

Verim: 0,95

**Tek Fazlı Tasarım İçin Kullanılan Sabitler**

Regülasyon: 5 %

Flux Density (Bac): 1,6 Tesla

Pencere Kullanım Sabiti (Ku): 0,4

Frekans: 47 Hertz

Sabit Değerleri Değiştirmek İçin Tıklayınız

**Laminasyon Şekli:**

**E and I, Laminations**

| Part No | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| EI-175  | 0.953 | 0.953 | 0.794 | 1.905 |
| EI-021  | 1.270 | 1.270 | 0.794 | 2.064 |
| EI-625  | 1.588 | 1.588 | 0.794 | 2.381 |
| EI-750  | 1.905 | 1.905 | 0.953 | 2.857 |
| EI-875  | 2.223 | 2.223 | 1.111 | 3.333 |
| EI-100  | 2.540 | 2.540 | 1.270 | 3.810 |

**EI, Laminations, (Temper) 14 ml**

| Part No | D cm  | E cm  | F cm  | G cm  |
|---------|-------|-------|-------|-------|
| EI-112  | 2.857 | 2.857 | 1.429 | 4.286 |
| EI-125  | 3.175 | 3.175 | 1.588 | 4.763 |
| EI-138  | 3.493 | 3.493 | 1.746 | 5.239 |
| EI-150  | 3.810 | 3.810 | 1.905 | 5.715 |
| EI-175  | 4.445 | 4.445 | 2.223 | 6.668 |
| EI-225  | 5.715 | 5.715 | 2.858 | 8.571 |

**Channel Bracket Assembly**

Hesapla

Şekil 6.12. Tek Fazlı Transformatör Tasarım Hesaplama Ana Ekranı

Şekil 6.12’de tek fazlı transformatör için hesaplama ana ekranına ulaşılabilir. Burada kullanıcı değerleri girilerek hesaplamalar başlatılır.

Tek Fazlı Tek Fazlı Sabitler Üç Fazlı Üç Fazlı Sabitler

Sıcaklık: 30 OC

Regülasyon: 5 %

Flux Density (Bac): 1,6 Tesla

Pencere Kullanım Sabiti (Ku): 0,4

Frekans: 47 Hertz

Dalga Biçimi: Sin. Dalga

Manyetik Meteryal: Silikon M 6 X

Kullanıcı Değerlerini Kullan

Tek Fazlı Hesaplama Sayfasına Dönmek İçin Tıklayınız

**Seçilen Demir Nüve Değerleri:**

Part No:

WTfe: Wa:

WTcu: Ap:

MLT: Kg:

Ac: At:

**Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:**

#AWG:

AwpB: Ağırlık:

Density: Çap:

**Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:**

#AWG:

AwsB: Ağırlık:

Density: Çap:

Şekil 6.13. Tek Fazlı Transformatör Sabitleri Ekranı

Şekil 6.13’de transformatör tasarımı için önceden girilmiş gerekli olan sabitler ve kullanıcının kendi gireceği sabitler belirlenir.

**TEK FAZLI TRANSFORMATÖR HESAPLAMA SONUÇLARI**

|                               |         |           |                                         |        |           |
|-------------------------------|---------|-----------|-----------------------------------------|--------|-----------|
| Pgor                          | 513     | Watt      | Sekonder Bakır Kaybı Ps                 | 5,7    | Watt      |
| Elektriksel durum Ke          | 1,62    |           | Toplam Bakır Kaybı Pcu                  | 11,72  | Watt      |
| Nüve Geometrisi Kg            | 37,579  | cm5       | Yeni Regülasyon                         | 4,69   | %         |
| Primer Sarım Sayısı Np        | 250     | Turn      | Kilogram Başına Watt Hesabı             | 0,86   | Watt / Kg |
| Primer Akı Ypınlığı J         | 256     | Amp / cm2 | Demir Kayıpları Pfe                     | 2,01   | Watt      |
| Giriş Akımı Iin               | 2,288   | Amp.      | Toplam Kayıp Pfe + Pcu                  | 13,73  | Watt      |
| Primer Boş Kablo Alanı AwpB   | 0,0089  | cm2       | Birim Alana Düşen Kayıp                 | 0,0287 | Watt/cm2  |
| Primer Direnç Rp              | 1,15    | Ohm       | Son Verim                               | 97,32  | %         |
| Primer Bakır Kayıpları Pp     | 6,02    | Watt      | Sıcaklık Değişimi                       | 23,96  | OC        |
| Sekonder Sarım Sayısı Ns      | 262     | Turn      | Primer Pencere Kullanım Sabiti Kup      | 0,204  |           |
| Sekonder Boş Kablo Alanı AwsB | 0,00848 | cm2       | Sekonder Pencere Kullanım Sabiti Kus    | 0,204  |           |
| Sekonder Direnç Rs            | 1,21    | Ohm       | Yeni Toplam Pencere Kullanım Sabiti Ku2 | 0,408  |           |

|                                      |            |                                            |                  |                                              |                  |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------------|------------------|----------------------------------------------|------------------|
| <b>Seçilen Demir Nüve Değerleri:</b> |            | <b>Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:</b> |                  | <b>Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:</b> |                  |
| Part No:                             | E1 - 150   | AwpB:                                      | #AWG: 18         | AwsB:                                        | #AWG: 18         |
| Wtfe:                                | 2334 Gram  |                                            | 8,228 cm2        |                                              | 8,228 cm2        |
| Wtcu:                                | 853 Gram   | Ağırlık:                                   | 0,0747 Gram      | Ağırlık:                                     | 0,0747 Gram      |
| MLT:                                 | 22 cm      | Densitip:                                  | 209,5 mikrohm/cm | Densitip:                                    | 209,5 mikrohm/cm |
| Ac:                                  | 13,79 cm2  | Çap:                                       | 0,109 cm         | Çap:                                         | 0,109 cm         |
| Wa:                                  | 10,887 cm2 |                                            |                  |                                              |                  |
| Ap:                                  | 150,13 cm4 |                                            |                  |                                              |                  |
| Kg:                                  | 37,579 cm5 |                                            |                  |                                              |                  |
| At:                                  | 479 cm2    |                                            |                  |                                              |                  |

Şekil 6.14. Tek Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı

Şekil 6.14’de Şekil 6.12 ve Şekil 6.13’de görülen tablolardaki değerlere göre tek fazlı transformatörün hesaplama sonuçları görülmektedir.

Tek Fazlı Tek Fazlı Sabitler Üç Fazlı Üç Fazlı Sabitler

Laminasyon Çeşidi: **El Laminasyon**

☒ Tam Köprü Üçgen Üçgen Bağlantı

☐ Tam Köprü Üçgen Yıldız Bağlantı

Giriş Voltajı Vin: **208** Volt

Çıkış Voltajı Vout: **28** Volt

Çıkış Akımı Iout: **10** Amper

Verim: **0,95**

**Üç Fazlı Tasarım İçin Kullanılan Sabitler**

Regülasyon: **5** %

Flux Density B: **1,4** Tesla

Pencere Kullanımı Ku: **0,4**

Diodyot Drop Vd: **1** Volt

Frekans: **60** Hertz

Sabit Değerleri Değiştirmek İçin Tıklayınız

**Laminasyon Şekli:**

**3Phase Laminations**

| Part No. | D3    | L     | F     | G     |
|----------|-------|-------|-------|-------|
| 0.250L3  | 0.635 | 0.635 | 0.871 | 2.858 |
| 0.375L3  | 0.953 | 0.953 | 1.270 | 3.175 |
| 0.500L3  | 1.270 | 1.270 | 1.588 | 3.493 |
| 0.562L3  | 1.427 | 1.427 | 1.588 | 5.798 |
| 0.625L3  | 1.588 | 1.588 | 1.984 | 5.634 |
| 0.875L3  | 2.223 | 2.223 | 2.779 | 6.111 |

**3Phase Transformer Assembly**

| Part No. | D3    | L     | F     | G      |
|----------|-------|-------|-------|--------|
| 1.000L1  | 2.540 | 2.540 | 3.810 | 7.620  |
| 1.200L1  | 3.048 | 3.048 | 3.048 | 7.620  |
| 1.500L1  | 3.810 | 3.810 | 3.810 | 9.525  |
| 1.800L1  | 4.572 | 4.572 | 4.572 | 11.430 |
| 2.400L1  | 6.096 | 6.096 | 6.096 | 15.240 |
| 3.600L1  | 9.144 | 9.144 | 9.144 | 22.860 |

**Bağlantı Şekli:**

HESAPLA

Şekil 6.15. Üç Fazlı Transformatör Tasarım Hesaplama Ana Ekranı

Şekil 6.15’de üç fazlı transformatör için hesaplama ana ekranına ulaşılabilir. Burada kullanıcı değerleri girilerek hesaplamalar başlatılır.

Tek Fazlı Tek Fazlı Sabitler Üç Fazlı Üç Fazlı Sabitler

Sıcaklık: **30** °C

Regülasyon: **5** %

Flux Density B: **1,4** Tesla

Pencere Kullanımı Ku: **0,4**

Diodyot Drop Vd: **1** Volt

Frekans: **60** Hertz

Dalga Biçimi: **Sin. Dalga**

Mariyetik Materyal: **Silikon M 6 X**

Kullanıcı Değerlerini Kullan

Üç Fazlı Hesaplama Sayfasına Dönmek İçin Tıklayınız

**Seçilen Demir Nüve Değerleri:**

Part No:

Wtfe:  Wa:

Wtcu:  Ap:

MLT:  Kg:

Ac:  Al:

**Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:**

#AWG:

AwspB:  Ağırlık:

Densityp:  Çap:

**Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:**

#AWG:

AwspB:  Ağırlık:

Densitys:  Çap:

Şekil 6.16. Üç Fazlı Transformatör Sabitleri Ekranı

Şekil 6.16’de transformatör tasarımı için önceden girilmiş gerekli olan sabitler ve kullanıcının kendi gireceği sabitler belirlenir.

**ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖR HESAPLAMA SONUÇLARI**

|                                |          |      |                                         |        |           |
|--------------------------------|----------|------|-----------------------------------------|--------|-----------|
| Pout                           | 300      | Watt | Sekonder Hat Akımı Isline               | 4,71   | Amp       |
| Pgor                           | 647      | Watt | Sekonder Faz Akımı Isphase              | 2,72   | Amp.      |
| Elektriksel durum Ke           | 2,02     |      | Sekonder Bakır Kaybı Ps                 | 4,99   | Watt      |
| Nüve Geometrisi Kg             | 39,067   | cm5  | Toplam Bakır Kaybı Pcu                  | 9,11   | Watt      |
| Primer Sarım Sayısı Np         | 910      | Turn | Yeni Regülasyon                         | 3,04   | %         |
| Primer Hat Akımı Ipline        | 0,506    | Amp  | Kilogram Başına Watt Hesabı             | 1,01   | Watt / Kg |
| Primer Faz Akımı Ipphase       | 0,292    | Amp. | Demir Kaybı Pfe                         | 2,78   | Watt      |
| Primer Pencere Kul. Sabiti Kup | 0,2      |      | Toplam Kayıp Pfe + Pcu                  | 11,89  | Watt      |
| Primer Boş Kablo Alanı AwpB    | 0,001595 | cm2  | Birim Alana Düşen Kayıp                 | 0,0163 | Watt/cm2  |
| Primer Direnç Rp               | 16,1     | Ohm  | Son Yerim                               | 96,2   | %         |
| Primer Bakır Kaybı Pp          | 4,12     | Watt | Sıcaklık Değişimi                       | 15,01  | OC        |
| Sekonder Voltaj Vs             | 22,2     | Volt | Primer Pencere Kullanım Sabiti Kup      | 0,204  |           |
| Sekonder Sarım Sayısı Ns       | 102      | Turn | Sekonder Pencere Kullanım Sabiti Kus    | 0,184  |           |
| Primer Pencere Kul. Sabiti Kus | 0,2      |      | Yeni Toplam Pencere Kullanım Sabiti Ku2 | 0,388  |           |
| Sekonder Boş Kablo Alanı AwsB  | 0,01423  | cm2  |                                         |        |           |
| Sekonder Direnç Rs             | 0,225    | Ohm  |                                         |        |           |

|                                      |            |                                            |                   |                                              |                    |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------------|-------------------|----------------------------------------------|--------------------|
| <b>Seçilen Demir Nüve Değerleri:</b> |            | <b>Seçilen Primer Bakır Tel Değerleri:</b> |                   | <b>Seçilen Sekonder Bakır Tel Değerleri:</b> |                    |
| Part No:                             | 1000E1     | #AWG:                                      | 25                | #AWG:                                        | 16                 |
| Wtfe:                                | 2751 Gram  | AwB:                                       | 1,623 cm2         | AwB:                                         | 13,07 cm2          |
| Wtcu:                                | 2594 Gram  | Ağırlık:                                   | 0,015 Gram        | Ağırlık:                                     | 0,1184 Gram        |
| MLT:                                 | 16,7 cm    | Densit:                                    | 1062 mikrozohm/cm | Densit:                                      | 131,8 mikrozohm/cm |
| Ac:                                  | 6,129 cm2  | Çap:                                       | 0,0505 cm         | Çap:                                         | 0,137 cm           |
| Wa:                                  | 29,03 cm2  |                                            |                   |                                              |                    |
| Ap:                                  | 266,91 cm4 |                                            |                   |                                              |                    |
| Kg:                                  | 39,067 cm5 |                                            |                   |                                              |                    |
| At:                                  | 730 cm2    |                                            |                   |                                              |                    |

Şekil 6.17. Üç Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı

Şekil 6.17’da Şekil 6.15 ve Şekil 6.16’de görülen tablolardaki değerlere göre üç fazlı transformatörün hesaplama sonuçları görülmektedir.

## 7. TRANSFORMATÖR TASARIM HESAPLAMA ÖRNEKLERİ

### 7.1. Tek Fazlı EI Laminasyon Hesaplama Örneği

$K_g$  çekirdek geometrisi göz önüne alınarak seçilen laminasyondaki örnek tasarım için giriş değerleri;

|                                   |                     |
|-----------------------------------|---------------------|
| Giriş Gerilimi ( $V_{in}$ ).....  | 220 V               |
| Çıkış Gerilimi ( $V_{out}$ )..... | 24 V                |
| Çıkış Gücü ( $P_{out}$ ).....     | 50 Watt             |
| Frekans ( $f$ ).....              | 50 Hz. (Sin. Dalga) |
| Verim ( $\eta$ ).....             | 95 %                |
| Regülasyon ( $\alpha$ ).....      | 5 %                 |
| Akı Yoğunluğu ( $B_{ac}$ ).....   | 1,0 Tesla           |
| Kullanılan Nüve Malzemesi .....   | Silicon M6X         |
| Pencere Kullanımı ( $K_u$ ).....  | 0.25                |
| Ortam Sıcaklığı ( $T$ ).....      | 30 °C               |

Transformatör tasarımında ortam sıcaklığı ( $T$ ), Pencere Kullanımı ( $K_u$ ), Akı Yoğunluğu ( $B_{ac}$ ), frekans ( $f$ ) ve Regülasyon ( $\alpha$ ) sabitler olarak kabul edilmiştir.

#### 1. Aşama: Görünür Güç Hesabı $P_t$ ;

$$P_t = P_0 \left( \frac{1}{\eta} + 1 \right) \quad [\text{watt}]$$

$$P_t = 50 \left( \frac{1}{0,95} + 1 \right)$$

$$P_t = 103 \text{ Watt}$$

#### 2. Aşama: Elektriksel Durum Hesabı $K_e$ ;

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4})$$

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4})$$

$$f, \text{ Sin Dalga olduğu için } K_f = 4,44$$

$$K_e = 0,71$$

**3. Aşama:** Nüve Geometrisi Hesabı  $K_g$ ;

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e\alpha} \quad [\text{cm}^5]$$

$$K_g = \frac{103}{2(0,71)(5)} = 14,507 \quad [\text{cm}^5]$$

**4. Aşama:** Elde Edilen  $K_g$  Değerine Göre Seçilen Laminasyon Tipinde  $K_g$  Karşılaştırması

Çizelge 4.2' ye bakıldığında  $K_g$  değerinin EI-112 ile EI-125 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz EI-138 e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $K_g$  değerimiz EI-125 part no ya sahip laminasyon  $K_g$  değeridir.

Laminasyon Numarası : EI – 125

Toplam Demir Ağırlığı ( $W_{tfe}$ ) = 1343Gram

Tahmini Bakır Ağırlığı ( $W_{tcu}$ ) = 492 Gram

Tahmini Sarım Uzunluğu (MLT) = 18,3 cm

Demir Alanı ( $A_c$ ) = 9,577 cm<sup>2</sup>

Pencere Alanı ( $W_a$ ) = 7,560 cm<sup>2</sup>

Üretim Alanı ( $A_p$ ) = 72,404 cm<sup>4</sup>

Yeni Nüve Geometrisi ( $K_g$ ) = 15,162 cm<sup>5</sup>

Yüzey Alanı ( $A_t$ ) = 333 cm<sup>2</sup>

**5. Aşama:** Faraday Kanunu Kullanarak Primer Sayım Sayısı  $N_p$ ;

$$N_p = \frac{V_p(10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \quad [\text{sarım}]$$

$$N_p = \frac{220(10^4)}{(9,577)(1,0)(50)(4,44)}$$

$$N_p = 1035 \quad [\text{sarım}]$$

**6. Aşama:** Akım Yoğunluğunun Hesabı J;

$$J = \frac{P_t(10^4)}{K_f K_u B_{ac} f A_p} \quad [\text{Amp} / \text{cm}^2]$$

$$J = \frac{103(10^4)}{(4,44)(0,25)(1,0)(50)(72,404)}$$

$$J = 256 \quad [\text{Amp} / \text{cm}^2]$$

**7. Aşama:** Giriş Akımı Hesabı  $I_{in}$ ;

$$I_{in} = \frac{P_0}{V_{in} \eta} \quad [\text{Amp}]$$

$$I_{in} = \frac{50}{(220)(0,95)}$$

$$I_{in} = 0,239 \quad [\text{Amp}]$$

**8. Aşama:** Primer Boş Kablo Alanı  $A_{wp(B)}$ ;

$$A_{wp(B)} = \frac{I_{in}}{J} \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp(B)} = \frac{0,239}{256}$$

$$A_{wp(B)} = 0,0009 \quad [\text{cm}^2]$$

**9. Aşama:** Elde Edilen  $A_{wp(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7' den  $A_{wp(B)}$  Karşılaştırması

Çizelge 5.7'ye bakıldığında  $A_{wp(B)}$  değerinin AWG #27 ile AWG #28 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #28'ye daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{wp(B)}$  değerimiz AWG #28'ye sahip bakır tel  $A_{wp(B)}$  değeridir.

AWG # 28

$$A_{wp(B)} = 0,0008046 \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp} = 0,0010515 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\text{Ağırlık} = 0,0747 \quad [\text{gr/cm}]$$

$$\left(\frac{\mu\Omega}{cm}\right) = 2142,0 \quad [\text{microohm/cm}]$$

$$\text{Çap} = 0,0366 \quad [\text{cm}]$$

**10. Aşama:** Primer Direnç Hesabı  $R_p$ ;

$$R_p = MLT(N_p) \left(\frac{\mu\Omega}{cm}\right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}]$$

$$R_p = (18,3)(1035) (2142) (10^{-6})$$

$$R_p = 40,57 \quad [\text{ohm}]$$

**11. Aşama:** Primer Bakır Kayıblı Hesabı  $P_p$ ;

$$P_p = I_p^2 R_p \quad [\text{watt}]$$

$$P_p = 2,32 \quad [\text{watt}]$$

**12. Aşama:** Sekonder Sarım Sayısı Hesabı  $N_s$ ;

$$N_s = \frac{N_p V_{out}}{V_{in}} \left(1 + \frac{\alpha}{100}\right) \quad [\text{sarım}]$$

$$N_s = \frac{(1035)(24)}{220} \left(1 + \frac{5}{100}\right)$$

$$N_s = 119 \quad [\text{sarım}]$$

**13. Aşama:** Sekonder Boş Kablo Alanı  $A_{ws}(B)$ ;

$$I_0 = \frac{P_{out}}{V_{out}}$$

$$A_{ws(B)} = \frac{I_0}{J} \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{ws(B)} = \frac{2,1}{256}$$

$$A_{ws(B)} = 0,0082 \quad [\text{cm}^2]$$

**14. Aşama:** Elde Edilen  $A_{ws(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7'den  $A_{ws(B)}$  Karşılaştırması: Çizelge 5.7' e bakıldığında  $A_{ws(B)}$  değerinin AWG #17 ile AWG #18 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #18'e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{ws(B)}$  değerimiz AWG #18'e sahip bakır tel  $A_{ws(B)}$  değeridir.

AWG # 18

$$A_{wp(B)} = 0,008228 \quad [cm^2]$$

$$A_{wp} = 0,009326 \quad [cm^2]$$

$$Ağırlık = 0,07474 \quad [gr/cm]$$

$$\left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) = 209,5 \quad [microohm/cm]$$

$$\text{Çap} = 0,1090 \quad [cm]$$

**15. Aşama:** Sekonder Sargı Direnci Hesabı  $R_s$ ;

$$R_s = MLT(N_s) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \quad [ohm]$$

$$R_s = (18,3)(119) (209,5) (10^{-6})$$

$$R_s = 0,46 \quad [ohm]$$

**16. Aşama:** Sekonder Bakır Kayıblı Hesabı  $P_s$ ;

$$P_s = I_0^2 R_s \quad [watt]$$

$$P_s = (2,1)^2 (0,46)$$

$$P_s = 2,03 \quad [watt]$$

**17. Aşama:** Toplam Bakır Kayıblı  $P_{cu}$ ;

$$P_{cu} = P_p + P_s \quad [watt]$$

$$P_{cu} = (2,32) + (2,03)$$

$$P_{cu} = 4,35 \quad [watt]$$

**18. Aşama:** Transformatör Yeni Regülasyon Değeri  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%]$$

$$\alpha = \frac{4,35}{50}(100)$$

$$\alpha = 8,7 \quad [\%]$$

**19. Aşama:** Kilogram Başına Düşen Kayıp W/K;

$$W / K = 0,000557(f)^{1.68} (B_{ac})^{1.86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

$$W / K = 0,000557(50)^{1.68} (1,0)^{1.86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

$$W / K = 0,398 \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

**20. Aşama:** Demir Kayıbbı Hesabı  $P_{fe}$ ;

$$P_{fe} = (W / K)(W_{tfe})(10^{-3}) \quad [\text{watt}]$$

$$P_{fe} = (0,398)(1,343)(10^{-3})$$

$$P_{fe} = 0,53 \quad [\text{watt}]$$

**21. Aşama:** Toplam Kayıp  $P_{\Sigma}$ ;

$$P_{\Sigma} = P_{cu} + P_{fe} \quad [\text{watt}]$$

$$P_{\Sigma} = 4,35 + 0,53$$

$$P_{\Sigma} = 4,88 \quad [\text{watt}]$$

**22. Aşama:** Birim Alana Düşen Kayıp Hesabı  $\psi$ ;

$$\psi = \frac{P_{\Sigma}}{A_t} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

$$\psi = \frac{4,88}{333} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

$$\psi = 0,0147 \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

**23. Aşama:** Sıcaklık Artışı  $T_r$ ;

$$T_r = 450 (\psi)^{(0.826)} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_r = 450 (0,0147)^{(0.826)}$$

$$T_r = 13,79 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**24. Aşama:** Toplam Yeni Pencere Kullanım Sabiti  $K_u$ ;

$$K_u = K_{up} + K_{us}$$

$$K_{us} = \frac{N_s A_{ws(B)}}{W_a}$$

$$K_{us} = \frac{(119)(0,008046)}{7,56}$$

$$K_{us} = 0,123$$

$$K_{up} = \frac{N_p A_{wp(B)}}{W_a}$$

$$K_{up} = \frac{(1035)(0,008228)}{7,56}$$

$$K_{up} = 0,129$$

$$K_u = K_{up} + K_{us}$$

$$K_u = 0,123 + 0,129$$

$$K_u = 0,252$$



Pencere Kullanımı ( $K_u$ ).....0,4  
 Diyot Düşümü ( $V_d$ )..... 1,0 V

Transformatör tasarımında ortam diyot düşümü ( $V_d$ ), Pencere Kullanımı ( $K_u$ ), Akı Yoğunluğu ( $B_{ac}$ ), frekans ( $f$ ) ve Regülasyon ( $\alpha$ ) sabitler olarak kabul edilmiştir.

**1. Aşama:** Görünür Güç Hesabı  $P_t$ ;

$$P_0 = I_0(V_0 + 2V_d) = (10)(28 + (2,1)) = 300 \text{ [watt]}$$

$$P_t = P_0 \left( \frac{P_{VA}}{\eta} + S_{VA} \right)$$

$$P_t = 300 \left( \frac{1,05}{0,95} + 1,05 \right)$$

$$P_t = 647 \text{ [watt]}$$

**2. Aşama:** Elektriksel Durum Hesabı  $K_e$ ;

$$K_e = 2,86f^2B^2(10^{-4})$$

$$K_e = 2,86(60)^2(1,4)^2(10^{-4})$$

$$K_e = 2,02$$

**3. Aşama:** Nüve Geometrisi Hesabı  $K_g$ ;

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e\alpha} \quad [\text{cm}^5]$$

$$K_g = \frac{647}{2(2,02)(5)}$$

$$K_g = 32 \quad [\text{cm}^5]$$

**4. Aşama:** Elde Edilen  $K_g$  Değerine Göre Seçilen Laminasyon Tipinde  $K_g$  Karşılaştırması

Çizelge 4.10' a bakıldığında  $K_g$  değerinin 1000EI ile 1200EI arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz 1000EI' e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $K_g$  değerimiz 1000EI part no ya sahip laminasyon  $K_g$  değeridir.

Laminasyon Numarası : 1000 EI

Toplam Demir Ağırlığı ( $W_{tfe}$ ) = 2751 Gram

Tahmini Bakır Ağırlığı ( $W_{tcu}$ ) = 2594 Gram

Tahmini Sarım Uzunluğu (MLT) = 16.7 cm

Demir Alanı ( $A_c$ ) = 6.129 cm<sup>2</sup>

Pencere Alanı ( $W_a$ ) = 29.03 cm<sup>2</sup>

Üretim Alanı ( $A_p$ ) = 266.91 cm<sup>4</sup>

Yeni Nüve Geometrisi ( $K_g$ ) = 39.067 cm<sup>5</sup>

Yüzey Alanı ( $A_t$ ) = 730 cm<sup>2</sup>

**5. Aşama:** Faraday Kanunu Kullanarak Primer Sayım Sayısı  $N_p$ ;

$$N_p = \frac{V_{p(line)}(10^4)}{K_f B_{ac} A_c f} \quad [\text{sarım}]$$

$$N_p = \frac{208(10^4)}{4,44(1.4)(6,129)(60)}$$

$$N_p = 910 \quad [\text{sarım}]$$

**6. Aşama:** Primer Hat Akımı Hesabı  $I_{P(line)}$ ;

$$I_{P(line)} = \frac{P_0}{3V_{P(line)}\eta} \quad [\text{Amp}]$$

$$I_{P(line)} = \frac{300}{3(208)(0,95)}$$

$$I_{P(line)} = 0,506 \quad [\text{Amp}]$$

**7. Aşama:** Primer Faz Akımı Hesabı  $I_{P(phase)}$ ;

$$I_{P(phase)} = \frac{I_{P(line)}}{\sqrt{3}} \quad ,[\text{Amp}]$$

$$I_{P(phase)} = \frac{0,506}{\sqrt{3}}$$

$$I_{P(phase)} = 0,292 \quad ,[\text{Amp}]$$

**8. Aşama:** Primer Boş Kablo Alanı  $A_{wp(B)}$ ;

$$A_{wp(B)} = \left( \frac{K_{up} W_a}{4N_p} \right) , [cm^2] \quad K_{up} = K_u / 2$$

$$A_{wp(B)} = \left( \frac{(0,2)(29,03)}{4(910)} \right)$$

$$A_{wp(B)} = 0,00159 \quad , [cm^2]$$

**9. Aşama:** Elde Edilen  $A_{wp(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7'den  $A_{wp(B)}$  Karşılaştırması  
Çizelge 5.7'ye bakıldığında  $A_{wp(B)}$  değerinin AWG #25 ile AWG #26 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #25'e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{wp(B)}$  değerimiz AWG #25'e sahip bakır tel  $A_{wp(B)}$  değeridir.

AWG # 25

$$A_{wp(B)} = 0.001623 \quad [cm^2]$$

$$A_{wp} = 0.002002 \quad [cm^2]$$

$$A_{ğırlık} = 0.01498 \quad [gr/cm]$$

$$\left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) = 1062.0 \quad [microhm/cm]$$

$$\text{Çap} = 0.0505 \quad [cm]$$

**10. Aşama:** Primer Direnç Hesabı  $R_p$ ;

$$R_p = MLT(N_p) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \quad [ohm]$$

$$R_p = (16,7)(910) (1062,0) (10^{-6})$$

$$R_p = 16,1 \quad [ohm]$$

**11. Aşama:** Toplam Primer Bakır Kayıbı Hesabı  $P_p$ ;

$$P_p = 3(I_{p(phase)})^2 R_p \quad [watt]$$

$$P_p = 3(0.292)^2 (16,1)$$

$$P_p = 4,12 \quad [watt]$$

**12. Aşama:** Sekonder Sarım Sayısı Hesabı  $N_s$ ;

$$N_s = \frac{N_p V_s}{V_p} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad [\text{sarım}] \quad V_s = (0,740)(V_0 + 2V_d)$$

$$N_s = \frac{910(22,2)}{208} \left( 1 + \frac{5}{100} \right)$$

$$N_s = 102 \quad [\text{sarım}]$$

**13. Aşama:** Sekonder Boş Kablo Alanı Hesabı  $A_{ws(B)}$ ;

$$A_{ws(B)} = \left( \frac{K_{us} W_a}{4N_s} \right) ,[\text{cm}^2] \quad K_{us} = K_u / 2$$

$$A_{ws(B)} = \left( \frac{(0,2)(29,03)}{4(102)} \right)$$

$$A_{ws(B)} = 0,0142 \quad ,[\text{cm}^2]$$

**14. Aşama:** Elde Edilen  $A_{ws(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7'den  $A_{ws(B)}$  Karşılaştırması  
Çizelge 5.7'ye bakıldığında  $A_{ws(B)}$  değerinin AWG #15 ile AWG #16 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #16'ya daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{ws(B)}$  değerimiz AWG #16'ya sahip bakır tel  $A_{ws(B)}$  değeridir.

AWG # 16

$$A_{wp(B)} = 0,01307 \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp} = 0,01473 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\text{Ağırlık} = 0,11840 \quad [\text{gr/cm}]$$

$$\left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) = 131,8 \quad [\text{microohm/cm}]$$

$$\text{Çap} = 0,1370 \quad [\text{cm}]$$

**15. Aşama:** Sekonder Sargı Direnci Hesabı  $R_s$ ;

$$R_s = MLT(N_s) \left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}]$$

$$R_s = (16,7)(102) (31,8) (10^{-6})$$

$$R_s = 0,225 \quad [\text{ohm}]$$

**16. Aşama:** Sekonder Hat Akımı Hesabı  $I_{S(\text{line})}$ ;

$$I_{S(\text{line})} = (0,471)I_0 \quad [\text{Amp}]$$

$$I_{S(\text{line})} = (0,471)(10)$$

$$I_{S(\text{line})} = 4,71 \quad [\text{Amp}]$$

**17. Aşama:** Sekonder Faz Akımı Hesabı  $I_{S(\text{phase})}$ ;

$$I_{S(\text{phase})} = \frac{I_{s(\text{line})}}{\sqrt{3}} \quad [\text{Amp}]$$

$$I_{S(\text{phase})} = \frac{4,71}{\sqrt{3}}$$

$$I_{S(\text{phase})} = 2,72 \quad [\text{Amp}]$$

**18. Aşama:** Toplam Sekonder Bakır Kayıbı Hesabı  $P_s$ ;

$$P_s = 3(I_{S(\text{phase})})^2 R_s \quad [\text{watt}]$$

$$P_s = 3(2,72)^2 (0,225)$$

$$P_s = 4,99 \quad [\text{watt}]$$

**19. Aşama:** Transformör Regülasyon Sabiti Hesabı  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%] \quad P_{cu} = P_p + P_s$$

$$\alpha = \frac{(4,12) + (4,99)}{300} (100)$$

$$\alpha = 3,03 \quad [\%]$$

**20. Aşama:** Kilogram başına düşen Kayıp Hesabı  $W / K$ ;

$$W / K = 0,000557(f)^{1,68} (B_{ac})^{1,86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

$$W / K = 0,000557(60)^{1,68} (1,4)^{1,86}$$

$$W / K = 1,01 \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

**21. Aşama:** Toplan Demir Kayıpları Hesabı  $P_{fe}$ ;

$$P_{fe} = (W / K)(W_{tfe})(10^{-3}) \quad [\text{watt}]$$

$$P_{fe} = (1,01)(2,751)(10^{-3})$$

$$P_{fe} = 2,78 \quad [\text{watt}]$$

**22. Aşama:** Toplam Transformör Kayıbı Hesabı  $P_{\Sigma}$ ;

$$P_{\Sigma} = P_p + P_s + P_{fe} \quad [\text{watt}]$$

$$P_{\Sigma} = (4,12) + (4,99) + (2,78)$$

$$P_{\Sigma} = 11,89 \quad [\text{watt}]$$

**23. Aşama:** Transformör Verimi Hesabı  $\eta$ ;

$$\eta = \frac{P_0}{P_0 + P_{\Sigma}} (100) \quad [\%]$$

$$\eta = \frac{300}{300 + (11,89)} (100)$$

$$\eta = 96,2 \quad [\%]$$

**24. Aşama:** Birim Alana Düşen Kayıp Hesabı  $\psi$ ;

$$\psi = \frac{P_{\Sigma}}{A_t} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

$$\psi = \frac{11,89}{730}$$

$$\psi = 0,0163 \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

**25. Aşama:** Sıcaklık Artışı Hesabı  $T_r$ ;

$$T_r = 450 (\psi)^{(0.826)} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_r = 450 (0,0163)^{(0.826)} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_r = 15 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**26. Aşama:** Toplam Pencere Kullanımı Hesabı  $K_u$ ;

$$K_u = K_{up} + K_{us} \quad K_{us} = \frac{4N_s A_{ws(B)}}{W_a} \quad K_p = \frac{4N_p A_{wp(B)}}{W_a}$$

$$K_u = \frac{4N_s A_{ws(B)}}{W_a} + \frac{4N_p A_{wp(B)}}{W_a}$$

$$K_u = \frac{4(910)(0,001623)}{29} + \frac{4(102)(0,01307)}{29}$$

$$K_u = (0,204) + (0,184)$$

$$K_u = 0,388$$

Program çıktısı hesaplama sonuçları;

**ÜÇ FAZLI TRANSFORMATÖR HESAPLAMA SONUÇLARI**

|                                |          |      |                                         |        |           |
|--------------------------------|----------|------|-----------------------------------------|--------|-----------|
| Pout                           | 300      | Watt | Sekonder Hat Akımı Isline               | 4,71   | Amp       |
| Pgor                           | 647      | Watt | Sekonder Faz Akımı Isphase              | 2,72   | Amp.      |
| Elektriksel durum Ke           | 2,02     |      | Sekonder Bakır Kaybı Ps                 | 4,99   | Watt      |
| Nüve Geometrisi Kg             | 39,067   | cm5  | Toplam Bakır Kaybı Pcu                  | 9,11   | Watt      |
| Primer Sarım Sayısı Np         | 910      | Turn | Yeni Regülasyon                         | 3,04   | %         |
| Primer Hat Akımı Ipline        | 0,506    | Amp  | Kilogram Başına Watt Hesabı             | 1,01   | Watt / Kg |
| Primer Faz Akımı Iphase        | 0,292    | Amp. | Demir Kayıpları Pfe                     | 2,78   | Watt      |
| Primer Pencere Kul. Sabiti Kup | 0,2      |      | Toplam Kayıp Pfe + Pcu                  | 11,89  | Watt      |
| Primer Boş Kablo Alanı AwpB    | 0,001595 | cm2  | Birim Alana Düşen Kayıp                 | 0,0163 | Watt/cm2  |
| Primer Direnç Rp               | 16,1     | Ohm  | Son Verim                               | 96,2   | %         |
| Primer Bakır Kayıpları Pp      | 4,12     | Watt | Sıcaklık Değişimi                       | 15,01  | OC        |
| Sekonder Voltaj Vs             | 22,2     | Volt | Primer Pencere Kullanım Sabiti Kup      | 0,204  |           |
| Sekonder Sarım Sayısı Ns       | 102      | Turn | Sekonder Pencere Kullanım Sabiti Kus    | 0,104  |           |
| Primer Pencere Kul. Sabiti Kus | 0,2      |      | Yeni Toplam Pencere Kullanım Sabiti Ku2 | 0,308  |           |
| Sekonder Boş Kablo Alanı AwsB  | 0,01423  | cm2  |                                         |        |           |
| Sekonder Direnç Rs             | 0,225    | Ohm  |                                         |        |           |

|                                      |            |                                            |                 |                                              |                  |
|--------------------------------------|------------|--------------------------------------------|-----------------|----------------------------------------------|------------------|
| <b>Seçilen Demir Nüve Değerleri:</b> |            | <b>Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:</b> |                 | <b>Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:</b> |                  |
| Part No:                             | 1000E1     | #AWG:                                      | 25              | #AWG:                                        | 16               |
| Wtfe:                                | 2751 Gram  | AwpB:                                      | 1,623 cm2       | AwsB:                                        | 13,07 cm2        |
| Wtcu:                                | 2594 Gram  | Ağırlık:                                   | 0,015 Gram      | Ağırlık:                                     | 0,1184 Gram      |
| MILT:                                | 16,7 cm    | Densitp:                                   | 1062 mikrohm/cm | Densitp:                                     | 131,8 mikrohm/cm |
| Ac:                                  | 6,129 cm2  | Çap:                                       | 0,0505 cm       | Çap:                                         | 0,137 cm         |
| W:                                   | 29,03 cm2  |                                            |                 |                                              |                  |
| Ap:                                  | 266,91 cm4 |                                            |                 |                                              |                  |
| Kg:                                  | 39,067 cm5 |                                            |                 |                                              |                  |
| Alt:                                 | 730 cm2    |                                            |                 |                                              |                  |

Şekil 7.2. Üç Fazlı Transformatör Hesaplama Sonuç Ekranı

### 7.3. Tek Fazlı EI Laminasyon Yalıtım Transformatörü Hesaplama Örneği

$K_g$  çekirdek geometrisi göz önüne alınarak seçilen laminasyondaki örnek tasarım için giriş değerleri;

Giriş Gerilimi ( $V_{in}$ )..... 220 V  
Çıkış Gerilimi ( $V_{out}$ ).....220 V  
Çıkış Gücü ( $P_{out}$ ).....440 Watt  
Frekans ( $f$ ).....50 Hz. (Sin. Dalga)  
Verim ( $\eta$ ).....95 %  
Regülasyon ( $\alpha$ )..... 5 %  
Akı Yoğunluğu ( $B_{ac}$ ).....1,0 Tesla  
Kullanılan Nüve Malzemesi .....Silicon M6X  
Pencere Kullanımı ( $K_u$ ).....0,4

Ortam Sıcaklığı (T).....30 °C

Transformatör tasarımında ortam sıcaklığı (T), Pencere Kullanımı ( $K_u$ ), Akı Yoğunluğu ( $B_{ac}$ ), frekans (f) ve Regülasyon ( $\alpha$ ) sabitler olarak kabul edilmiştir.

**1. Aşama:** Görünür Güç Hesabı  $P_t$ ;

$$P_t = P_0 \left( \frac{1}{\eta} + 1 \right) \quad [\text{watt}]$$

$$P_t = 440 \left( \frac{1}{0,95} + 1 \right)$$

$$P_t = 903 \text{ Watt}$$

**2. Aşama:** Elektriksel Durum Hesabı  $K_e$ ;

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4})$$

$$K_e = 0,145 K_f^2 f^2 B_m^2 (10^{-4})$$

f, Sin Dalga olduğu için  $K_f = 4,44$

$$K_e = 0.71$$

**3. Aşama:** Nüve Geometrisi Hesabı  $K_g$ ;

$$K_g = \frac{P_t}{2K_e\alpha} \quad [\text{cm}^5]$$

$$K_g = \frac{903}{2(0,71)(5)} = 127,183 \quad [\text{cm}^5]$$

**4. Aşama:** Elde Edilen  $K_g$  Değerine Göre Seçilen Laminasyon Tipinde  $K_g$  Karşılaştırması

Çizelge 4.2' ye bakıldığında  $K_g$  değerinin EI-175 ile EI-225 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz EI-175' e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $K_g$  değerimiz EI-175 part no ya sahip laminasyon  $K_g$  değeridir.

Laminasyon Numarası : EI – 175

Toplam Demir Ağırlığı ( $W_{tfe}$ ) = 3711,0Gram

Tahmini Bakır Ağırlığı ( $W_{tcu}$ ) = 1348,0 Gram

Tahmini Sarım Uzunluğu (MLT) = 25,6 cm

Demir Alanı ( $A_c$ ) = 18,770 cm<sup>2</sup>

Pencere Alanı ( $W_a$ ) = 14,818 cm<sup>2</sup>

Üretim Alanı ( $A_p$ ) = 278,145 cm<sup>4</sup>

Yeni Nüve Geometrisi ( $K_g$ ) = 81,656 cm<sup>5</sup>

Yüzey Alanı ( $A_t$ ) = 652,0 cm<sup>2</sup>

**5. Aşama:** Faraday Kanunu Kullanarak Primer Sayım Sayısı  $N_p$ ;

$$N_p = \frac{V_p (10^4)}{A_c B_{ac} f K_f} \text{ [sarım]}$$

$$N_p = \frac{220(10^4)}{(18,770)(1,0)(50)(4,44)}$$

$$N_p = 528 \text{ [sarım]}$$

**6. Aşama:** Akım Yoğunluğunun Hesabı J;

$$J = \frac{P_t (10^4)}{K_f K_u B_{ac} f A_p} \text{ [Amp / cm}^2\text{]}$$

$$J = \frac{903(10^4)}{(4,44)(0,4)(1,0)(50)(278,145)}$$

$$J = 366 \text{ [Amp / cm}^2\text{]}$$

**7. Aşama:** Giriş Akımı Hesabı  $I_{in}$ ;

$$I_{in} = \frac{P_0}{V_{in} \eta} \text{ [Amp]}$$

$$I_{in} = \frac{440}{(220)(0,95)}$$

$$I_{in} = 2,105 \text{ [Amp]}$$

**8. Aşama:** Primer Boş Kablo Alanı  $A_{wp}(B)$ ;

$$A_{wp(B)} = \frac{I_{in}}{J} \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp(B)} = \frac{2,105}{366}$$

$$A_{wp(B)} = 0,0058 \quad [\text{cm}^2]$$

**9. Aşama :** Elde Edilen  $A_{wp(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7' den  $A_{wp(B)}$  Karşılaştırması

Çizelge 5.7'ye bakıldığında  $A_{wp(B)}$  değerinin AWG #19 ile AWG #20 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #20'ye daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{wp(B)}$  değerimiz AWG #20'ye sahip bakır tel  $A_{wp(B)}$  değeridir.

AWG # 20

$$A_{wp(B)} = 0,005188 \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp} = 0,0060650 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\text{Ağırlık} = 0,04726 \quad [\text{gr/cm}]$$

$$\left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) = 332,3 \quad [\text{microohm/cm}]$$

$$\text{Çap} = 0,0879 \quad [\text{cm}]$$

**10. Aşama:** Primer Direnç Hesabı  $R_p$ ;

$$R_p = MLT(N_p) \left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}]$$

$$R_p = (25,6)(528) (32,3) (10^{-6})$$

$$R_p = 4,49 \quad [\text{ohm}]$$

**11. Aşama:** Primer Bakır Kayıbı Hesabı  $P_p$ ;

$$P_p = I_p^2 R_p \quad [\text{watt}]$$

$$P_p = 19,9 \quad [\text{watt}]$$

**12. Aşama:** Sekonder Sarım Sayısı Hesabı  $N_s$ ;

$$N_s = \frac{N_p V_{out}}{V_{in}} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} \right) \quad [\text{sarım}]$$

$$N_s = \frac{(528)(220)}{220} \left( 1 + \frac{5}{100} \right)$$

$$N_s = 554 \quad [\text{sarım}]$$

**13. Aşama:** Sekonder Boş Kablo Alanı  $A_{ws(B)}$ ;

$$I_0 = \frac{P_{out}}{V_{out}}$$

$$A_{ws(B)} = \frac{I_0}{J} \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{ws(B)} = \frac{2}{366}$$

$$A_{ws(B)} = 0,00546 \quad [\text{cm}^2]$$

**14. Aşama:** Elde Edilen  $A_{ws(B)}$  Değerine Göre Çizelge 5.7'den  $A_{ws(B)}$  Karşılaştırması: Çizelge 5.7' e bakıldığında  $A_{ws(B)}$  değerinin AWG #19 ile AWG #20 arasında olduğu görünür. Ancak değerimiz AWG #20'e daha yakın olduğu için seçilecek yeni  $A_{ws(B)}$  değerimiz AWG #20'e sahip bakır tel  $A_{ws(B)}$  değeridir.

AWG # 20

$$A_{wp(B)} = 0,005188 \quad [\text{cm}^2]$$

$$A_{wp} = 0,0060650 \quad [\text{cm}^2]$$

$$\text{Ağırlık} = 0,04726 \quad [\text{gr/cm}]$$

$$\left( \frac{\mu\Omega}{\text{cm}} \right) = 332,3 \quad [\text{microohm/cm}]$$

$$\text{Çap} = 0,0879 \quad [\text{cm}]$$

**15. Aşama:** Sekonder Sargı Direnci Hesabı  $R_s$ ;

$$R_s = MLT(N_s) \left( \frac{\mu\Omega}{cm} \right) (10^{-6}) \quad [\text{ohm}]$$

$$R_s = (25,6)(554) (32,3) (10^{-6})$$

$$R_s = 4,71 \quad [\text{ohm}]$$

**16. Aşama:** Sekonder Bakır Kayıbı Hesabı  $P_s$ ;

$$P_s = I_0^2 R_s \quad [\text{watt}]$$

$$P_s = (2)^2 (4,71)$$

$$P_s = 18,84 \quad [\text{watt}]$$

**17. Aşama:** Toplam Bakır Kayıbı  $P_{cu}$ ;

$$P_{cu} = P_p + P_s \quad [\text{watt}]$$

$$P_{cu} = (19,9) + (18,84)$$

$$P_{cu} = 38,74 \quad [\text{watt}]$$

**18. Aşama:** Transformator Yeni Regülasyon Değeri  $\alpha$ ;

$$\alpha = \frac{P_{cu}}{P_0} (100) \quad [\%]$$

$$\alpha = \frac{38,74}{440} (100)$$

$$\alpha = 8,8 \quad [\%]$$

**19. Aşama:** Kilogram Başına Düşen Kayıp W/K;

$$W / K = 0,000557 (f)^{1,68} (B_{ac})^{1,86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

$$W / K = 0,000557 (50)^{1,68} (1,0)^{1,86} \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

$$W / K = 0,398 \quad [\text{watt} / \text{Kg}]$$

**20. Aşama:** Demir Kayıbı Hesabı  $P_{fe}$ ;

$$P_{fe} = (W / K) (W_{tfe}) (10^{-3}) \quad [\text{watt}]$$

$$P_{fe} = (0,398) (3711) (10^{-3})$$

$$P_{fe} = 1,48 \quad [\text{watt}]$$

**21. Aşama:** Toplam Kayıp  $P_{\Sigma}$ ;

$$P_{\Sigma} = P_{cu} + P_{fe} \quad [\text{watt}]$$

$$P_{\Sigma} = 38,74 + 1,48$$

$$P_{\Sigma} = 40,22 \quad [\text{watt}]$$

**22. Aşama:** Birim Alana Düşen Kayıp Hesabı  $\psi$ ;

$$\psi = \frac{P_{\Sigma}}{A_t} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

$$\psi = \frac{40,22}{652} \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

$$\psi = 0,0617 \quad [\text{watt} / \text{cm}^2]$$

**23. Aşama:** Sıcaklık Artışı  $T_r$ ;

$$T_r = 450 (\psi)^{(0.826)} \quad [^{\circ}\text{C}]$$

$$T_r = 450 (0,0617)^{(0.826)}$$

$$T_r = 45,08 \quad [^{\circ}\text{C}]$$

**24. Aşama:** Toplam Yeni Pencere Kullanım Sabiti  $K_u$ ;

$$K_u = K_{up} + K_{us}$$

$$K_{us} = \frac{N_s A_{ws(B)}}{W_a}$$

$$K_{us} = \frac{(554)(0,005188)}{14,818}$$

$$K_{us} = 0,204$$

$$K_{up} = \frac{N_p A_{wp(B)}}{W_a}$$

$$K_{up} = \frac{(528)(0,005188)}{14,818}$$

$$K_{up} = 0,207$$

$$K_u = K_{up} + K_{us}$$

$$K_u = 0,204 + 0,207$$

$$K_u = 0,411$$

Program çıktısı hesaplama sonuçları;

| TEK FAZLI TRANSFORMATÖR HESAPLAMA SONUÇLARI  |          |             |                                         |        |           |
|----------------------------------------------|----------|-------------|-----------------------------------------|--------|-----------|
| Pgor                                         | 903      | Watt        | Sekonder Bakır Kaybı Ps                 | 18,84  | Watt      |
| Iout                                         | 2        | Amp         | Toplam Bakır Kaybı Pcu                  | 38,74  | Watt      |
| Elektriksel durum Ke                         | 0,71     |             | Yeni Regülasyon                         | 8,8    | %         |
| Nüve Geometrisi Kg                           | 81,656   | cm5         | Kilogram Başına Watt Hesabı             | 0,398  | Watt / Kg |
| Primer Sarım Sayısı Np                       | 528      | Turn        | Demir Kayıpları Pfe                     | 1,48   | Watt      |
| Primer Akı Ypnlığı J                         | 366      | Amp / cm2   | Toplam Kayıp Pfe + Pcu                  | 40,22  | Watt      |
| Giriş Akımı Iin                              | 2,105    | Amp.        | Birim Alana Düşen Kayıp                 | 0,0617 | Watt/cm2  |
| Primer Boş Kablo Alanı AwpB                  | 0,0058   | cm2         | Son Verim                               | 95,55  | %         |
| Primer Direnç Rp                             | 4,49     | Ohm         | Sıcaklık Değişimi                       | 45,08  | OC        |
| Primer Bakır Kayıpları Pp                    | 19,9     | Watt        | Primer Pencere Kullanım Sabiti Kup      | 0,204  |           |
| Sekonder Sarım Sayısı Ns                     | 554      | Turn        | Sekonder Pencere Kullanım Sabiti Kus    | 0,207  |           |
| Sekonder Boş Kablo Alanı AwsB                | 0,00546  | cm2         | Yeni Toplam Pencere Kullanım Sabiti Ku2 | 0,411  |           |
| Sekonder Direnç Rs                           | 4,71     | Ohm         |                                         |        |           |
| <b>Seçilen Demir Nüve Değerleri:</b>         |          |             |                                         |        |           |
| Part No:                                     | EI - 175 |             |                                         |        |           |
| Wtfe:                                        | 3711     | Gram        | Wa:                                     | 14,818 | cm2       |
| Wtcu:                                        | 1348     | Gram        | Ap:                                     | 278,14 | cm4       |
| MLT:                                         | 25,6     | cm          | Kg:                                     | 81,656 | cm5       |
| Ac:                                          | 18,77    | cm2         | At:                                     | 652    | cm2       |
| <b>Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:</b>   |          |             |                                         |        |           |
| AwpB:                                        | #AWG:    | 20          |                                         |        |           |
|                                              | 5,188    | cm2         | Ağırlık:                                | 0,0473 | Kg        |
| Density:                                     | 332,3    | mikroohm/cm |                                         |        |           |
| Çap:                                         | 0,0879   | cm          |                                         |        |           |
| <b>Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:</b> |          |             |                                         |        |           |
| AwsB:                                        | #AWG:    | 20          |                                         |        |           |
|                                              | 5,188    | cm2         | Ağırlık:                                | 0,0473 | Kg        |
| Density:                                     | 332,3    | mikroohm/cm |                                         |        |           |
| Çap:                                         | 0,0879   | cm          |                                         |        |           |

Şekil 7.3. Tek Fazlı Yalıtım Transformatörü Hesaplama Sonuç Ekranı

#### 7.4. Program Aracılığıyla Tasarlanan Transformatörün Laboratuvar Deneyi

Geliştirilen program kullanılarak 220 V / 24 V gerilimlere sahip ve 50 W çıkış gücüne sahip (Örnek 7.1.) bir transformatör tasarlanmış ve laboratuvar ortamında deneyleri yapılmıştır. Deneyler sonucunda elde edilen veriler aşağıda sunulmaktadır.

##### 7.4.1. Tam yük deneyi sonucu elde edilen veriler

Tam yük deneyinde 12  $\Omega$ ' luk bir direnç kullanılmış olup sonuçlar Çizelge 7.1'de verilmektedir.

Çizelge 7.1. Tam Yük Deneyi Laboratuvar Sonuçları

|           |       |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-----------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| $V_1$ (V) | 220   | 200  | 180  | 160  | 140  | 120  | 110  | 100  | 80   | 60   | 40   |
| $V_2$ (V) | 23.84 | 21.7 | 19.4 | 17.2 | 15.1 | 13.0 | 11.9 | 10.9 | 8.7  | 6.5  | 4.3  |
| $I_1$ (A) | 0.22  | 0.20 | 0.18 | 0.16 | 0.14 | 0.11 | 0.10 | 0.09 | 0.07 | 0.06 | 0.03 |
| $I_2$ (A) | 1.87  | 1.81 | 1.62 | 1.44 | 1.26 | 1.09 | 1.00 | 0.91 | 0.73 | 0.56 | 0.38 |
| $P_1$ (W) | 48.4  | 40   | 32.4 | 25.6 | 19.6 | 13.2 | 11   | 9    | 5.6  | 3.6  | 1.2  |

**7.4.2. Boşta deneyi sonucu elde edilen veriler**

Boşta çalışma deneyinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Boşta çalışma deneyinde  $I_2 = 0$ 'dır.

Çizelge 7.2. Boşta Çalışma Deneyi Laboratuvar Sonuçları

|           |      |
|-----------|------|
| $V_1$ (V) | 220  |
| $V_2$ (V) | 25.5 |
| $I_1$ (A) | 0.03 |

**7.4.3. Kısa devre deneyi sonucu elde edilen veriler**

Kısa devre deneyinde aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir. Kısa Devre deneyinde  $V_2=0$ 'dır.

Çizelge 7.3. Kısa Devre Deneyi Laboratuvar Sonuçları

|           |      |      |      |       |      |      |      |       |      |
|-----------|------|------|------|-------|------|------|------|-------|------|
| $I_2$ (A) | 2.00 | 1.80 | 1.63 | 1.41  | 1.25 | 0.97 | 0.79 | 0.59  | 0.38 |
| $V_1$ (V) | 17.2 | 15.5 | 14.0 | 12.10 | 10.7 | 8.30 | 6.80 | 5.00  | 3.10 |
| $I_1$ (A) | 0.24 | 0.22 | 0.22 | 0.17  | 0.14 | 0.11 | 0.10 | 0.007 | 0.04 |

#### 7.4.4. Sıcaklık değişimi ve dirençler

Laboratuvar ortamında yapılan ölçümler sonucunda ortam sıcaklığının  $23^{\circ}\text{C}$  olduğu ve bu sıcaklıkta tasarlanan transformatörün çekirdek sıcaklığının  $29.4^{\circ}\text{C}$ , sargı sıcaklığının ise  $26.4^{\circ}\text{C}$  olduğu gözlenmiştir.

Aynı şartlarda tasarlanan transformatörde;

Primer sargı direnci:  $28\ \Omega$

Sekonder sargı direnci:  $0.70\ \Omega$

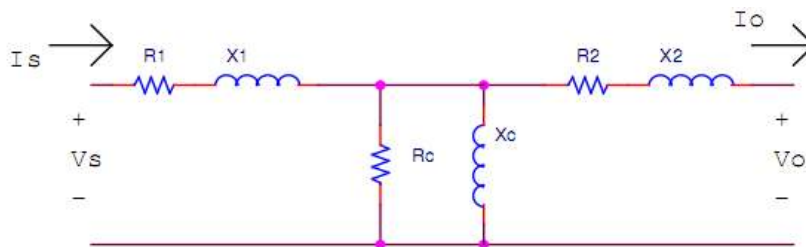
olarak ölçülmüştür.

#### 7.4.5. Transformatör parametre hesapları

Tasarlanan transformatörün açık devre ve kısa devre deneyleri sonucu elde edilen parametre değerleri aşağıdaki gibidir. Bu değerler ışığında transformatörün kaçak endüktansları, çekirdek kayıpları direnci, mıknatıslanma reaktansı, sargı dirençleri, ve regülasyon değerleri hesaplanabilir.

$$V_{oc} = 220\text{V}, I_{oc} = 0.03\text{A}, P_{oc} = 3.6\text{ W}$$

$$V_{sc} = 16.75\text{ V}, I_{sc} = 0.24\text{ A}, P_{sc} = 4.0\text{ W}$$



Şekil 7.4 Transformatör Eşdeğer Devre Şeması

$$G_c = 1/R_c = \frac{P_{oc}}{V_{oc}^2}$$

$$G_c = \frac{3.6}{(220)^2} = 74.8 \cdot 10^{-6} \text{ S (Siemens) } (R_c=13.4 \text{ k}\Omega)$$

$$Y_{oc} = \frac{I_{oc}}{V_{oc}} = \frac{0,03}{220} = 1.36 \times 10^{-4} \text{ S (Siemens)}$$

$$R_{sc} = \frac{P_{sc}}{I_{sc}^2} = \frac{4}{(0.24)^2} = 69.44 \Omega$$

$$R_1 = R_2 = \frac{R_{sc}}{2} = 34.72 \Omega \text{ (R2 için yansıtılmış değer)}$$

$$\text{Gerçek R2 değeri: } R_2 = \frac{34.72}{(220/24)^2} = 0.41 \Omega$$

$$1/X_m = \sqrt{Y_{oc}^2 - G_c^2} = 1.14 \times 10^{-4} \text{ S (Siemens)}$$

$$X_m = 8.8 \text{ k}\Omega$$

$$Z_{sc} = \frac{V_{sc}}{I_{sc}} = \frac{16.75}{0.24} = 69.79 \Omega$$

$$Z_{sc} = \sqrt{R_{sc}^2 + X_{eq}^2}$$

$$(69.79)^2 = (69.44)^2 + (X_{eq})^2$$

$$(X_{eq})^2 = 48.74$$

$$X_{eq} = 6.98 \Omega$$

$$X_1 = X_2 = \frac{X_{eq}}{2} = 3.49 \Omega$$

$$\text{Regülasyon} = \alpha = \% \frac{V_{2(yüksüz)} - V_{2(yüklü)}}{V_{2(yüklü)}} (100)$$

$$\alpha = \% \frac{25.5 - 23.8}{23.8} (100) = \% 7.14$$

Verimin ( $\eta$ ) hesaplanması (Tam yükte)

$$\eta = \% \frac{23.84 \times 1,87}{48.4} 100 = \% 92.1$$

Deneylerden elde edilen sonuçlarla tasarım programından elde edilen sonuçlar Çizelge 7.4’de karşılaştırılmaktadır.

Çizelge 7.4. Sonuçların Karşılaştırılması

|              | Tasarım | DeneySEL | Hata (%) |
|--------------|---------|----------|----------|
| $R_1 \Omega$ | 40.57   | 34.72    | 16.8     |
| $R_2 \Omega$ | 0.46    | 0.41     | 12.2     |
| Verim %      | 95.26   | 92.1     | 3.4      |
| Regülasyon % | 8.7     | 7.14     | 21.8     |

Görüldüğü gibi, tasarım sonuçları ile elde edilen sonuçlar ile deneysel sonuçlar arasında %10’un üzerinde hatalar mevcuttur. Sonuçların, ağırlıklı olarak tasarım sırasında kullanılan sabitlerin seçiminden kaynaklandığı düşünülmektedir.

## 8. SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu tezde, düşük gerilim güç transformatörleri ile ilgili çalışma ilkeleri, yapım teknikleri, malzeme seçenekleri ile bilgiler verildikten sonra transformatör tasarımı üzerinde durulmuş ve bir transformatör tasarım programı yazılmıştır. Geliştirilen transformatör yazılımında DELPHI programlama dili ve Microsoft Office Access Veritabanı programı kullanılmıştır. Hazırlanan yazılımla örnek tasarımlar yapılmış, bu tasarımlardan bir tanesinden elde edilen sonuçlar kullanılarak transformatör sardırılmış ve bu transformatör üzerinde deneyler yapılarak transformatörün parametreleri hesaplanmıştır. Son olarak da tasarım sonuçları ile deneysel sonuçlar karşılaştırılmıştır.

Deneysel çalışma sonucu elde edilen değerlerin, tasarım programında verilenlerden %10 kadar farklı olduğu gözlemlenmiştir. Bu farklılıkların ağırlıklı olarak tasarımda kullanılan sabitlerin seçiminden kaynaklandığı düşünülmektedir. Zaman azlığı nedeniyle işlemlerde yineleme yapılamamıştır. Bu tezin devamında, tasarım programı üzerinde çalışmalar yapılarak daha gerçekçi sonuçlar verecek sabitlerin belirlenmesi gerekmektedir. Ayrıca, hem tek fazlı hem de üç fazlı başka örnek transformatörler de hazırlanarak tasarımın doğruluğunun daha uygun biçimde değerlendirilmesi mümkün olacaktır. Son olarak da, malzeme veri tabanının geliştirilmesi ve ara yüz programının geliştirilmesi gerekmektedir.

## KAYNAKLAR

1. Boduroğlu N , “Elektrik Makinaları, I-II”, *İ.T.Ü. Elektrik-Elektronik Fakültesi*, İstanbul, (1998).
2. Johnston, R. R., “Mathcad Thames the Power Transformer Tasarım Problem” *Engineering Science Courses & Tasarım*, 1-4. 8-15. 19-20 (2001).
3. Osman G, “Elektromanyetik Alan Teorisi”, *Nobel Yayın Dağıtım*, Ankara, (2000).
4. McLyman, William T., “Transformer and Inductor Tasarım Handbook Third Ed.”, *Marcel Dekker*, California, U.S.A., (2004)
5. Bal G, “Transformatörler”, *Seçkin Yayın Evi*, Ankara, (2008).
6. Bereket M, Tekin E, “Temel Elektronik”, *MK Yayınevi*, İzmir, (2005).
7. Çetin İ, “Transformatör Çözümlü Problemlerle”, *Dolunay Yayın Evi*, İstanbul, (1987).
8. Dunlap, C. H., Siefert, W. A., Austin, F. E., “Transformers, principles and applications”, *American Technical Society*, Chicago, (1977).
9. Snelling, E.C., “Soft Ferrites Properties and Applications, 2nd edition”, *Butterworth*, Boston, 189-254 (1988).

**EKLER**

## EK – 1 Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```
unit ana;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls, ComCtrls, ExtCtrls, Buttons, jpeg ,Math, Grids, DBGrids,StrUtils
```

```
,  
DB, ADODB ;
```

```
type
```

```
Tfrm_ana = class(TForm)  
  StatusBar1: TStatusBar;  
  PageControl1: TPageControl;  
  TabSheet1: TTabSheet;  
  TabSheet2: TTabSheet;  
  ComboBox1: TComboBox;  
  Label1: TLabel;  
  Edit1: TEdit;  
  Edit2: TEdit;  
  Edit3: TEdit;  
  Edit4: TEdit;  
  Edit5: TEdit;  
  TabSheet3: TTabSheet;  
  ComboBox2: TComboBox;  
  Label2: TLabel;  
  RadioButton2: TRadioButton;  
  RadioButton3: TRadioButton;  
  Label3: TLabel;  
  Label4: TLabel;  
  Label5: TLabel;  
  Label6: TLabel;  
  Label7: TLabel;  
  BitBtn1: TBitBtn;  
  Label9: TLabel;  
  Label10: TLabel;  
  Label11: TLabel;  
  Label12: TLabel;  
  TabSheet4: TTabSheet;  
  Edit6: TEdit;  
  Label13: TLabel;  
  Label14: TLabel;  
  Edit7: TEdit;  
  Label15: TLabel;  
  Label18: TLabel;  
  Edit9: TEdit;
```

**EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```
Edit10: TEdit;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
TabSheet5: TTabSheet;  
Image1: TImage;  
Label8: TLabel;  
ComboBox3: TComboBox;  
Edit11: TEdit;  
Label25: TLabel;  
Button1: TButton;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Label27: TLabel;  
Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Label32: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Label36: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Edit12: TEdit;  
Edit13: TEdit;  
Edit14: TEdit;  
Edit15: TEdit;  
Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Edit8: TEdit;  
Edit18: TEdit;  
Edit19: TEdit;  
Edit20: TEdit;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Label45: TLabel;  
Label46: TLabel;
```

**EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

Label47: TLabel;
Image2: TImage;
ComboBox4: TComboBox;
ado_uc_fazli_ei: TADOQuery;
dta_uc_fazli_ei: TDataSource;
dta_tek_fazli_ei: TDataSource;
ado_tek_fazli_ei: TADOQuery;
dta_tek_fazli_ui: TDataSource;
ado_tek_fazli_ui: TADOQuery;
Button2: TButton;
Edit22: TEdit;
Edit23: TEdit;
Edit25: TEdit;
Edit26: TEdit;
Image3: TImage;
Image4: TImage;
Edit29: TEdit;
Edit30: TEdit;
Edit31: TEdit;
Edit32: TEdit;
Edit28: TEdit;
Button3: TButton;
Label24: TLabel;
Label38: TLabel;
Label48: TLabel;
ado_ei: TADOQuery;
DataSource1: TDataSource;
ado_eiExpr1000: TBCDField;
Label49: TLabel;
Edit34: TEdit;
Edit35: TEdit;
Edit36: TEdit;
Edit37: TEdit;
Edit38: TEdit;
Edit39: TEdit;
Edit40: TEdit;
Edit41: TEdit;
Label50: TLabel;
Label51: TLabel;
Label52: TLabel;
Label53: TLabel;
Label54: TLabel;
Label55: TLabel;
Label56: TLabel;
Label57: TLabel;

```

**EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```
Edit42: TEdit;
Label58: TLabel;
Label59: TLabel;
Label60: TLabel;
Edit43: TEdit;
Edit44: TEdit;
Edit45: TEdit;
Edit46: TEdit;
Label61: TLabel;
Label62: TLabel;
Label63: TLabel;
Label64: TLabel;
Label66: TLabel;
Label67: TLabel;
Edit48: TEdit;
Label68: TLabel;
Edit49: TEdit;
Edit51: TEdit;
Label70: TLabel;
Edit52: TEdit;
Label71: TLabel;
ADO_wire_table: TADOQuery;
dta_wire_table: TDataSource;
Label65: TLabel;
Edit47: TEdit;
Label69: TLabel;
Edit50: TEdit;
Edit53: TEdit;
Edit54: TEdit;
Edit55: TEdit;
Label72: TLabel;
Label73: TLabel;
Label74: TLabel;
Label75: TLabel;
Edit56: TEdit;
Label76: TLabel;
Edit57: TEdit;
Label77: TLabel;
Edit58: TEdit;
Label78: TLabel;
Edit59: TEdit;
Label79: TLabel;
ado_uc_fazli_ee: TADOQuery;
dta_uc_fazli_ee: TDataSource;
ado_uc_fazli_eeNo: TAutoIncField;
```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

ado_uc_fazli_eePart_No: TWideStringField;
ado_uc_fazli_eeWtcu: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeWtfe: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeMLT: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeWa__2Ac: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeAc_cm2: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeWa_cm2: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeAp_cm4: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeKg_cm5: TBCDField;
ado_uc_fazli_eeAt_cm2: TBCDField;
Label80: TLabel;
Label81: TLabel;
Edit60: TEdit;
Edit61: TEdit;
Edit62: TEdit;
Label82: TLabel;
Label83: TLabel;
Label84: TLabel;
Edit63: TEdit;
Label85: TLabel;
Edit64: TEdit;
Label86: TLabel;
Edit65: TEdit;
Label87: TLabel;
Label88: TLabel;
Edit66: TEdit;
Label89: TLabel;
Edit67: TEdit;
Edit24: TEdit;
Label90: TLabel;
Label91: TLabel;
Label92: TLabel;
Edit27: TEdit;
ADO_wire_tableAWG: TFloatField;
ADO_wire_tableBare_Area_cm2: TBCDField;
ADO_wire_tabledensity_20C: TBCDField;
ADO_wire_tablearea_cm2_103: TBCDField;
ADO_wire_tablediameter_cm: TBCDField;
ADO_wire_tableTurnsper_cm: TBCDField;
ADO_wire_tableTurnsper_cm2: TBCDField;
ADO_wire_tableWeight_grcm: TBCDField;
Label93: TLabel;
Edit21: TEdit;
Label94: TLabel;
Edit33: TEdit;

```

### **EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

Label95: TLabel;
Label96: TLabel;
Edit68: TEdit;
Label97: TLabel;
Label98: TLabel;
Edit69: TEdit;
Label99: TLabel;
Label100: TLabel;
Edit70: TEdit;
Edit71: TEdit;
Label101: TLabel;
Label102: TLabel;
Button4: TButton;
Label103: TLabel;
Label104: TLabel;
Edit72: TEdit;
Label105: TLabel;
Label106: TLabel;
Edit73: TEdit;
Label107: TLabel;
Edit74: TEdit;
Label108: TLabel;
Label109: TLabel;
Edit75: TEdit;
Label110: TLabel;
Label111: TLabel;
Edit76: TEdit;
Label112: TLabel;
Button5: TButton;
Button6: TButton;
Button7: TButton;
Button8: TButton;
Button9: TButton;
Button10: TButton;
Label113: TLabel;
Label114: TLabel;
Button11: TButton;
procedure BitBtn1Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox2Change(Sender: TObject);
// procedure BitBtn2Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure ComboBox1Change(Sender: TObject);
procedure RadioButton2Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

procedure proc_formul_hesapla;
procedure Button4Click(Sender: TObject);
procedure Button6Click(Sender: TObject);
procedure Button5Click(Sender: TObject);
procedure Button7Click(Sender: TObject);
procedure Button8Click(Sender: TObject);
procedure Button10Click(Sender: TObject);
procedure Button9Click(Sender: TObject);
procedure Button11Click(Sender: TObject);
private
{ Private declarations }
//function Buyuk(c:char):char;
function nokta_virgu(s: Double): string;
public
{ Public declarations }

regulasyon,Bac,Ku,Tr,Kf,f,Vin,Vout,Iout,Pout,verim,Pgor,Ke,Kg,MPL,partno,Wtfe,
Wtcu,MLT,Ac,Wa,Ap,Kg2.At,Np,J,Iin,AwpB,AwpB1000.AwsB1000.AWGp,AwpB
p,AwpP,densityp,Trp,Rp,Pp,Ns,AwsB,AWGs,AwpBs,Awps,densitys,Rs,Ps,regulasy
on2.wattkilo,Pfe,Pcu,Ptoplam,Sonverim100.birimkayip,Tr2.Ku2.Kup,      Kus,Pson,
U_Tr, U_regulasyon,U_Kf, U_Bac, U_Ku, U_Vdiyot, U_f, U_Vin, U_Vout, U_Iout,
U_verim, U_Pout, U_Pgor, U_Ke, U_Kg, U_Partno, U_Wtfe, U_MLT, U_Ac,
U_Wa,U_Wtcu, U_Ap, U_Kg2. U_At, U_Np, U_Ipline, U_Ipphase, U_AwpB,
U_Kup,U_AwpB1000. U_Wa2. U_AWGp, U_AwBp, U_AwinSp, U_densityp,
U_Rp, U_Pp, U_Ns, U_Vs, U_Kus,U_AwsB1000. U_AwsB, U_AWGp, U_AwBs,
U_Awinss, U_densitys, U_Rs, U_Isline, U_Isphase, U_Ps, U_Pcu, U_regulasyon2.
U_wattkilo, U_Pfe, U_Ptoplam, U_sonverim,U_sonverim100. U_birimkayip, U_Tr2.
U_Kup1. U_Kus1. U_Ku2. U_AwBp_KU,U_AwBs_KU: Double;
    secim : string;

end;

var
    frm_ana: Tfrm_ana;

implementation

uses tek_fazli_hesaplamalar, uc_fazli_hesaplamalar;

{$R *.dfm}

procedure Tfrm_ana.BitBtn1Click(Sender: TObject);
//    dalga_degeri : string ;
begin
    secim := 'tek_fazli';

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

if ComboBox1.Text ='EI Laminasyon' then
begin
ShowMessage('EI Seçildi');
  if Edit1.Text = " then
  begin
    ShowMessage('Lütfen Giriş Gerilimini Girin');
  end
  else if Edit2.Text ="then
  begin
    ShowMessage('Lütfen Çıkış Gerilimini Girin');
  end
  else if Edit3.Text ="then
  begin
    ShowMessage('Lütfen Çıkış Akımını Girin');
  end
  else if Edit4.Text ="then
  begin
    ShowMessage('Lütfen Çıkış Gücü Girin');
  end else if Edit5.Text ="then
  begin
    ShowMessage('Lütfen Verim Değerrini Girin');
  end
  else
  begin
    proc_formul_hesapla;
    // mlt := Edit1.Text * 0.0001
    // aki_degeri :=
    // giris_gerilimi
  end;
end
else if ComboBox1.Text ='UI Laminasyon' then
begin
  ShowMessage('UI Seçildi');
  proc_formul_hesapla;
end
  else ShowMessage(' Lütfen Laminasyon Değeri Seçiniz...');
///değişkenleri tanımlayıp formülasyon yapıyıpr////////////////////////////////////
  //ShowMessage(FloatToStr( StrToFloat(edit7.Text) *StrToFloat(Edit9.Text )) );
/// //////////////////////////////////
end;
procedure Tfrm_ana.Button10Click(Sender: TObject);
begin
  PageControl1.ActivePageIndex :=2;
end;

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```
procedure Tfrm_ana.Button11Click(Sender: TObject);
begin
  PageControl1.ActivePageIndex :=4;
end;
```

```
procedure Tfrm_ana.Button1Click(Sender: TObject);
begin
  secim :='uc_fazli';
  if ComboBox2.Text ='EI Laminasyon' then
  begin
    ShowMessage('EI Seçildi');
    if Edit8.Text = " " then
    begin
      ShowMessage('Lütfen Giriş Gerilimini Girin');
    end
    else if Edit18.Text ="then
    begin
      ShowMessage('Lütfen Çıkış Gerilimini Girin');
    end
    else if Edit19.Text ="then
    begin
      ShowMessage('Lütfen Çıkış Akımını Girin');
    end
    else if Edit20.Text ="then
    begin
      ShowMessage('Lütfen Verim Değerrini Girin');
    end
    else
    begin
      proc_formul_hesapla;
    end;
  end
  else if ComboBox2.Text ='EE Laminasyon' then
  begin
    ShowMessage('EE Seçildi');
    proc_formul_hesapla;
  end
  else ShowMessage(' Lütfen Laminasyon Değeri Seçiniz...');
end;
```

```
procedure Tfrm_ana.Button2Click(Sender: TObject);
begin
```

### **EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

Edit6.Text :=Edit22.Text;
Edit7.Text :=Edit26.Text;
Edit9.Text :=Edit25.Text;
Edit11.Text :=Edit23.Text;
    Edit68.Text :=Edit22.Text;
Edit69.Text :=Edit26.Text;
Edit70.Text :=Edit25.Text;
Edit71.Text :=Edit23.Text;
end;

procedure Tfrm_ana.Button3Click(Sender: TObject);
begin
begin
    Edit13.Text :=Edit28.Text;
    Edit14.Text :=Edit29.Text;
    Edit15.Text :=Edit30.Text;
    Edit16.Text :=Edit31.Text;
    Edit17.Text :=Edit32.Text;
    Edit72.Text :=Edit28.Text;
    Edit73.Text :=Edit29.Text;
    Edit74.Text :=Edit30.Text;
    Edit75.Text :=Edit31.Text;
    Edit76.Text :=Edit32.Text;
end;
end;

procedure Tfrm_ana.Button4Click(Sender: TObject);
var
kgw : Double;

begin
    PageControl1.ActivePageIndex :=2;
end;

procedure Tfrm_ana.Button5Click(Sender: TObject);
begin
    PageControl1.ActivePageIndex :=4;
end;

procedure Tfrm_ana.Button6Click(Sender: TObject);
begin
    PageControl1.ActivePageIndex :=1;
end;

procedure Tfrm_ana.Button7Click(Sender: TObject);

```

### **EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

begin
PageControl1.ActivePageIndex :=3;
end;

procedure Tfrm_ana.Button8Click(Sender: TObject);
begin
    PageControl1.ActivePageIndex :=1;
end;

procedure Tfrm_ana.Button9Click(Sender: TObject);
begin
    PageControl1.ActivePageIndex :=3;
end;

procedure Tfrm_ana.ComboBox1Change(Sender: TObject);
begin
    if ComboBox1.Text ='EI Laminasyon' then
    begin
        Image4.Picture.LoadFromFile('EI_tekfaz_laminasyonk.jpg');
    end
    else if ComboBox1.Text ='UI Laminasyon' then
    begin
        Image4.Picture.LoadFromFile('UI_tekfaz_laminasyonk.jpg');
    end;
end;

procedure Tfrm_ana.ComboBox2Change(Sender: TObject);
begin
    if ComboBox2.Text ='EI Laminasyon' then
    begin
        Image2.Picture.LoadFromFile('EI_ucfaz_laminasyon.jpg');
    end
    else if ComboBox2.Text ='EE Laminasyon' then
    begin
        Image2.Picture.LoadFromFile('EE_ucfaz_laminasyon.jpg');
    end;
end;

end;

procedure Tfrm_ana.RadioButton2Click(Sender: TObject);
begin
    if RadioButton2.Checked then
    begin
        Image3.Picture.LoadFromFile('delta_delta_connect.jpg');
    end;
end;

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

end
end;

procedure Tfrm_ana.proc_formul_hesapla;
var

kg_yas_buyuk,kg_yas_kucuk,awg_kucuk,awg_buyuk,awgs_buyuk,awgs_kucuk,U_k
g_yas_buyuk,U_kg_yas_kucuk,U_awg_buyuk,U_awg_kucuk,U_awgs_buyuk,U_aw
gs_kucuk,diameterp, diameters : Double;
begin
if secim = 'tek_fazli' then
begin
ShowMessage('procedur hesapla calisiyor');
Vin := StrToFloat(Edit1.Text);
Vout := StrToFloat(Edit2.Text);
Iout := StrToFloat(Edit3.Text);
Pout := StrToFloat(Edit4.Text);
verim := StrToFloat(Edit5.Text);
regulasyon := StrToFloat(Edit6.Text);
bac := StrToFloat(Edit7.Text);
f := StrToFloat(Edit11.Text);
Ku := StrToFloat(Edit9.Text);
if ComboBox3.Text = 'Sin. Dalga' then kf := StrToFloat('4.44')
else if ComboBox3.Text = 'Kare Dalga' then kf := StrToFloat('4.00');
Pgor := Round(Pout * ((1/verim)+1));
Ke := SimpleRoundTo((strtofloat('0.145') * Power(Kf ,2))* (Power (f ,2)) *
(Power (Bac ,2)) * (Power( 10 ,-4)),-2);
Kg := SimpleRoundTo((Pgor) / (2 * Ke * regulasyon),-1);
// DEMİR NÜVE TABLO SEÇİM DEĞERLERİ OLACAK
if ComboBox1.Text = 'EI Laminasyon' then
begin
ado_ei.Active := False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Kg_cm5) FROM tek_faz_ei WHERE
Kg_cm5 >' + nokta_virgu(Kg);
ado_ei.Active := True;

ado_tek_fazlli_ei.Active := False;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Clear;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_tek_fazlli_ei.Active := True;

kg_yas_buyuk := StrToFloat(ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Kg_cm5').Value);

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

ado_ei.Active :=False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Kg_cm5) FROM tek_faz_ei WHERE
Kg_cm5 <' + nokta_virgu(Kg);
ado_ei.Active := True;

```

```

ado_tek_fazlli_ei.Active :=False;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Clear;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_tek_fazlli_ei.Active := True;

```

```

kg_yas_kucuk := StrToFloat(ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value);

```

```

if (kg_yas_buyuk - Kg ) > ( Kg - kg_yas_kucuk ) then
begin
Kg := kg_yas_kucuk;
end
else if (kg_yas_buyuk - Kg ) < ( Kg - kg_yas_kucuk ) then
begin
Kg := kg_yas_buyuk;
end
else
begin
Kg := kg_yas_buyuk;
end;

```

```

ado_tek_fazlli_ei.Active :=False;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Clear;
ado_tek_fazlli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + Nokta_virgu(Kg);
ado_tek_fazlli_ei.Active := True;

```

```

Edit42.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Part_no').Value;
Edit34.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Wtfe_grams').Value;
Edit35.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Wa_cm2').Value;
Edit36.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Wtcu_grams').Value;
Edit37.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Ap_cm4').Value;
Edit38.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('MLT_cm').Value;
Edit39.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value;
Edit40.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Ac_cm2').Value;
Edit41.Text := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('At_cm2').Value;

```

```

Ac := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Ac_cm2').Value;
Ap := ado_tek_fazlli_ei.FieldByName('Ap_cm4').Value;

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

    Ac := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Ac_cm2').Value;
    Wa := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Wa_cm2').Value;
    Wtfe := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Wtfe_grams').Value;
    Wtcu := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Wtcu_grams').Value;
    MLT := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('MLT_cm').Value;
    Kg2 := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('Kg_cm5').Value;
    At := ado_tek_fazlli_ei.FieldName('At_cm2').Value;

end
else if ComboBox1.Text ='UI Laminasyon' then
begin
    ado_ei.Active :=False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Kg_cm5) FROM tek_faz_ui WHERE
Kg_cm5 >' + nokta_virgu(Kg);
    ado_ei.Active := True;

    ado_tek_fazli_ui.Active :=False;
    ado_tek_fazli_ui.SQL.Clear;
    ado_tek_fazli_ui.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ui WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
    ado_tek_fazli_ui.Active := True;
    kg_yas_buyuk := StrToFloat(ado_tek_fazli_ui.FieldName('Kg_cm5').Value);

    ado_ei.Active :=False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Kg_cm5) FROM tek_faz_ui WHERE
Kg_cm5 <' + nokta_virgu(Kg);
    ado_ei.Active := True;

    ado_tek_fazli_ui.Active :=False;
    ado_tek_fazli_ui.SQL.Clear;
    ado_tek_fazli_ui.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ui WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
    ado_tek_fazli_ui.Active := True;
    kg_yas_kucuk := StrToFloat(ado_tek_fazli_ui.FieldName('Kg_cm5').Value);

    if (kg_yas_buyuk - Kg ) > ( Kg - kg_yas_kucuk ) then
begin
    Kg := kg_yas_kucuk;
end
else if (kg_yas_buyuk - Kg ) < ( Kg - kg_yas_kucuk ) then
begin
    Kg := kg_yas_buyuk;
end
end

```

**EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

        else
        begin
            Kg := kg_yas_buyuk;
        end;

        ado_tek_fazli_ui.Active := False;
        ado_tek_fazli_ui.SQL.Clear;
        ado_tek_fazli_ui.SQL.Text := 'SELECT * FROM tek_faz_ui WHERE
Kg_cm5 =' + Nokta_virgu(Kg);
        ado_tek_fazli_ui.Active := True;

        Edit42.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Part_no').Value;
        Edit34.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wtfe_grams').Value;
        Edit35.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wa_cm2').Value;
        Edit36.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wtcu_grams').Value;
        Edit37.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Ap_cm4').Value;
        Edit38.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('MLT_cm').Value;
        Edit39.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Kg_cm5').Value;
        Edit40.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Ac_cm2').Value;
        Edit41.Text := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('At_cm2').Value;

        Ac := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Ac_cm2').Value;
        Ap := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Ap_cm4').Value;
        Wa := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wa_cm2').Value;
        Wtfe := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wtfe_grams').Value;
        Wtcu := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Wtcu_grams').Value;
        MLT := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('MLT_cm').Value;
        Kg2 := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('Kg_cm5').Value;
        At := ado_tek_fazli_ui.FieldByName('At_cm2').Value;

        end;

        Np := Round ((Vin * (Power( 10 ,4))) / (Kf * Bac * f * Ac));
        J := Round((Pgor * (Power( 10 ,4))) / (Kf * Ku * Bac * f * Ap));
        Iin := SimpleRoundTo((Pout) / (Vin * verim),-3);
        AwpB := SimpleRoundTo((Iin / J),-4);
        AwpB1000 := (AwpB * 1000);
        // Primer Bakır Tel Tablo seçim değerleri olacak

        begin
            ado_ei.Active := False;
            ado_ei.SQL.Clear;
            ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 >' + nokta_virgu(AwpB1000);
            ado_ei.Active := True;

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

ado_wire_table.Active :=False;
ado_wire_table.SQL.Clear;
ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_wire_table.Active := True;

awg_buyuk := StrToFloat(ado_wire_table.FieldName('Bare_Area_cm2').Value);

ado_ei.Active :=False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 <' + nokta_virgu(AwpB1000);
ado_ei.Active := True;

ado_wire_table.Active :=False;
ado_wire_table.SQL.Clear;
ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_wire_table.Active := True;

awg_kucuk := StrToFloat(ado_wire_table.FieldName('Bare_Area_cm2').Value);

if (awg_buyuk - AwpB1000 ) > ( AwpB1000 - awg_kucuk ) then
begin
AwpB1000 := awg_kucuk;
end
else if (awg_buyuk - AwpB1000 ) < ( AwpB1000 - awg_kucuk ) then
begin
AwpB1000 := awg_buyuk;
end
else
begin
AwpB1000 := awg_buyuk;
end;

ado_wire_table.Active :=False;
ado_wire_table.SQL.Clear;
ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + Nokta_virgu(AwpB1000);
ado_wire_table.Active := True;

Edit43.Text := floattostr (ado_wire_table.FieldName('AWG').Value);
Edit44.Text := ado_wire_table.FieldName('Bare_Area_cm2').Value;

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

Edit45.Text := ado_wire_table.FieldByName('Weight_gr/cm').Value;
Edit46.Text := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Edit24.Text := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;

AWPp := ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value;
AwpBp := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
Densityp := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Diameterp := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;
end;

Rp := SimpleRoundTo((MLT * Np * densityp * (Power( 10 ,-6))),-2);
Pp := SimpleRoundTo((((Power( Iin ,2)))) * Rp),-2);
Ns := Round (((Np * Vout) / Vin)* (1 + ( regulasyon / 100)));
AwsB := SimpleRoundTo((Iout /J),-5);
AwsB1000 := (AwsB * 1000);
// Sekonder Bakır Tel Tablo seçim değerleri olacak

begin
  ado_ei.Active :=False;
  ado_ei.SQL.Clear;
  ado_ei.SQL.Text := 'SELECT  Min(Bare_Area_cm2) FROM  wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 >' + nokta_virgu(AwsB1000);
  ado_ei.Active := True;

  ado_wire_table.Active :=False;
  ado_wire_table.SQL.Clear;
  ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM  wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
  ado_wire_table.Active := True;

awgs_buyuk := StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

  ado_ei.Active :=False;
  ado_ei.SQL.Clear;
  ado_ei.SQL.Text := 'SELECT  Max(Bare_Area_cm2) FROM  wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 <' + nokta_virgu(AwsB1000);
  ado_ei.Active := True;

  ado_wire_table.Active :=False;
  ado_wire_table.SQL.Clear;
  ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM  wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
  ado_wire_table.Active := True;

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

awgs_kucuk := StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

if (awgs_buyuk - AwsB1000 ) > ( AwsB1000 - awgs_kucuk ) then
begin
    AwsB1000 := awgs_kucuk;
end
else if (awgs_buyuk - AwsB1000 ) < ( AwsB1000 - awgs_kucuk ) then
begin
    AwsB1000 := awgs_buyuk;
end
else
begin
    AwsB1000 := awgs_buyuk;
end;

ado_wire_table.Active :=False;
ado_wire_table.SQL.Clear;
ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + Nokta_virgu(AwsB1000);
ado_wire_table.Active := True;

Edit48.Text := floattostr (ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value);
Edit49.Text := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
Edit51.Text := ado_wire_table.FieldByName('Weight_gr/cm').Value;
Edit52.Text := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Edit27.Text := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;

AWPs := ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value;
AwpBs := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
Densitys := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Diameters := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;
end;
Rs := SimpleRoundTo((MLT * Ns * densitys * (Power( 10 ,-6))),-2);
Ps := SimpleRoundTo((((Power( Iout ,2)))) * Rs),-2);
Pcu := SimpleRoundTo((Ps + Pp),-2);
regulasyon2 := SimpleRoundTo(((Pcu /Pout) * 100),-2);
wattkilo := SimpleRoundTo((strtofloat('0.000557')) * (Power(f
,strtofloat('1.68')))) * (Power (Bac ,strtofloat('1.86'))),-3);
Pfe := SimpleRoundTo((wattkilo) * (Wtfe) * (Power( 10 ,-3)), -2);
Ptoplam := (Pcu + Pfe);
Birimkayip := SimpleRoundTo((Ptoplam / At),-4);
Tr2 := SimpleRoundTo((450 * (Power(birimkayip ,strtofloat('0.826')))), -2);
Kus := SimpleRoundTo(((Ns * AwsB) / Wa),-3);
Kup := SimpleRoundTo(((Np * AwpB) / Wa),-3);

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

    Ku2 := (Kup + Kus);
    Pson := ((Pgor - Ptoplamlam) / Pgor);
    Sonverim100 := SimpleRoundTo((Pson * 100),-2);

    frm_tek_fazli_hesaplamalar := Tfrm_tek_fazli_hesaplamalar.Create(Self);
    frm_ana.Visible := False;
    frm_tek_fazli_hesaplamalar.ShowModal;
    frm_tek_fazli_hesaplamalar.Free;
end

else if secim = 'uc_fazli' then
    begin
    ShowMessage('procedur hesapla calısıyor');
    if ComboBox4.Text = 'Sin. Dalga' then U_kf := StrToFloat('4.44')
    else if ComboBox4.Text = 'Kare Dalga' then U_kf := StrToFloat('4.00');

    U_Vin := StrToFloat(Edit8.Text);
    U_Vout := StrToFloat(Edit18.Text);
    U_Iout := StrToFloat(Edit19.Text);
    U_verim := StrToFloat(Edit20.Text);
    U_Vdiyet := StrToFloat(Edit16.Text);
    U_f := StrToFloat(Edit17.Text);
    U_Bac := StrToFloat(Edit14.Text);
    U_regulasyon := StrToFloat(Edit13.Text);
    U_Ku := StrToFloat(Edit15.Text);
    // Üç fazlı hesaplama kodları

    U_Pout := ((U_Iout) * (U_Vout + (2 * U_Vdiyet))) ;
    U_Pgor := Round(((U_Pout) * (((strtofloat('1.05'))/ (U_verim)) +
    (strtofloat('1.05')))))));
    U_Ke := SimpleRoundTo((((strtofloat('2.86')) * (Power(U_f ,2)) * (Power(U_Bac
    ,2)) * (Power(10 ,-4))),-2);
    U_Kg := Round(((U_Pgor) / (2 * U_Ke * U_regulasyon)));

    // Demir Nüve Tablo seçim değerleri olacak

    if ComboBox2.Text = 'EI Laminasyon' then
    begin
    ado_ei.Active := False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Kg_cm5) FROM uc_faz_ei WHERE
    Kg_cm5 >' + nokta_virgu(U_Kg);
    ado_ei.Active := True;

```

**EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları**

```

ado_uc_fazli_ei.Active :=False;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Clear;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_uc_fazli_ei.Active := True;

```

```

U_kg_yas_buyuk := StrToFloat(ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value);

```

```

ado_ei.Active :=False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Kg_cm5) FROM uc_faz_ei WHERE
Kg_cm5 <' + nokta_virgu(U_Kg);
ado_ei.Active := True;

```

```

ado_uc_fazli_ei.Active :=False;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Clear;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_uc_fazli_ei.Active := True;

```

```

U_kg_yas_kucuk := StrToFloat(ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value);

```

```

if (U_kg_yas_buyuk - U_Kg ) > ( U_Kg - U_kg_yas_kucuk ) then
begin
U_Kg := U_kg_yas_kucuk;
end
else if (U_kg_yas_buyuk - U_Kg ) < ( U_Kg - U_kg_yas_kucuk ) then
begin
U_Kg := U_kg_yas_buyuk;
end
else
begin
U_Kg := U_kg_yas_buyuk;
end;

```

```

ado_uc_fazli_ei.Active :=False;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Clear;
ado_uc_fazli_ei.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ei WHERE
Kg_cm5 =' + Nokta_virgu(U_Kg);
ado_uc_fazli_ei.Active := True;

```

```

Edit47.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Part_no').Value;
Edit50.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wtfe_grams').Value;
Edit56.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wa_cm2').Value;
Edit53.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wtcu_grams').Value;

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

Edit57.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Ap_cm4').Value;
Edit54.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('MLT_cm').Value;
Edit58.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value;
Edit55.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Ac_cm2').Value;
Edit59.Text := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('At_cm2').Value;

U_Ac := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Ac_cm2').Value;
U_Ap := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Ap_cm4').Value;
U_Ac := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Ac_cm2').Value;
U_Wa := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wa_cm2').Value;
U_Wtfe := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wtfe_grams').Value;
U_Wtcu := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Wtcu_grams').Value;
U_MLT := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('MLT_cm').Value;
U_Kg2 := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('Kg_cm5').Value;
U_At := ado_uc_fazli_ei.FieldByName('At_cm2').Value;

//      ado_tek_fazlli_ei.SQL.Text := 'select * from tek_faz_ei where Kg_cm5
< "" + FloatToStr(Kg) + ""';
//      ado_tek_fazlli_ei.Active := True;
//      Ac := StrToFloat(ado_tek_fazlli_eiAc_cm2. value);
end
else if ComboBox2.Text ='EE Laminasyon' then
begin
ado_ei.Active :=False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Kg_cm5) FROM uc_faz_ee WHERE
Kg_cm5 >' + nokta_virgu(U_Kg);
ado_ei.Active := True;

ado_uc_fazli_ee.Active :=False;
ado_uc_fazli_ee.SQL.Clear;
ado_uc_fazli_ee.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ee WHERE Kg_cm5
=' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_uc_fazli_ee.Active := True;

U_kg_yas_buyuk := StrToFloat(ado_uc_fazli_ee.FieldByName('Kg_cm5').Value);

ado_ei.Active :=False;
ado_ei.SQL.Clear;
ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Kg_cm5) FROM uc_faz_ee WHERE
Kg_cm5 <' + nokta_virgu(U_Kg);
ado_ei.Active := True;

ado_uc_fazli_ee.Active :=False;
ado_uc_fazli_ee.SQL.Clear;

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

ado_uc_fazli_ee.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ee WHERE Kg_cm5 ='
+ nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
ado_uc_fazli_ee.Active := True;

U_kg_yas_kucuk := StrToFloat(ado_uc_fazli_ee.FieldName('Kg_cm5').Value);

if (U_kg_yas_buyuk - U_Kg) > (U_Kg - U_kg_yas_kucuk) then
begin
    U_Kg := U_kg_yas_kucuk;
end
else if (U_kg_yas_buyuk - U_Kg) < (U_Kg - U_kg_yas_kucuk) then
begin
    U_Kg := U_kg_yas_buyuk;
end
else
begin
    U_Kg := U_kg_yas_buyuk;
end;

ado_uc_fazli_ee.Active := False;
ado_uc_fazli_ee.SQL.Clear;
ado_uc_fazli_ee.SQL.Text := 'SELECT * FROM uc_faz_ee WHERE
Kg_cm5 =' + Nokta_virgu(U_Kg);
ado_uc_fazli_ee.Active := True;

Edit47.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Part_no').Value;
Edit50.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wtfe').Value;
Edit56.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wa_cm2').Value;
Edit53.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wtcu').Value;
Edit57.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Ap_cm4').Value;
Edit54.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('MLT').Value;
Edit58.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Kg_cm5').Value;
Edit55.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Ac_cm2').Value;
Edit59.Text := ado_uc_fazli_ee.FieldName('At_cm2').Value;

U_Ac := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Ac_cm2').Value;
U_Ap := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Ap_cm4').Value;
U_Ac := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Ac_cm2').Value;
U_Wa := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wa_cm2').Value;
U_Wtfe := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wtfe').Value;
U_Wtcu := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Wtcu').Value;
U_MLT := ado_uc_fazli_ee.FieldName('MLT').Value;
U_Kg2 := ado_uc_fazli_ee.FieldName('Kg_cm5').Value;
U_At := ado_uc_fazli_ee.FieldName('At_cm2').Value;

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

end;

U_Np := Round((((U_Vin) * Power(10 ,4)) / ((U_kf) * (U_Bac) * (U_Ac) *
(U_f))));
U_Ipline := SimpleRoundTo(((U_Pout) / (3 * (U_Vin) * (U_verim))),-3);
U_Ipphase := SimpleRoundTo(((U_Ipline) / (strtofloat('1.73'))),-3);
U_Kup := ((U_Ku) / 2);
U_AwpB := SimpleRoundTo(((U_Kup) * (U_Wa)) / ( 4 * (U_Np)), -6);
U_AwpB1000 := (U_AwpB * 1000);

// Primer Bakır Tel Tablo seçim değerleri olacak

begin
    ado_ei.Active :=False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 >' + nokta_virgu(U_AwpB1000);
    ado_ei.Active := True;

    ado_wire_table.Active :=False;
    ado_wire_table.SQL.Clear;
    ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
    ado_wire_table.Active := True;
    U_awg_buyuk :=
StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

    ado_ei.Active :=False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 <' + nokta_virgu(U_AwpB1000);
    ado_ei.Active := True;

    ado_wire_table.Active :=False;
    ado_wire_table.SQL.Clear;
    ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
    ado_wire_table.Active := True;
    U_awg_kucuk :=
StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

    if (U_awg_buyuk - U_AwpB1000 ) > ( U_AwpB1000 - U_awg_kucuk ) then
        begin
            U_AwpB1000 := U_awg_kucuk;
        end
    end

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

else if (U_awg_buyuk - U_AwpB1000 ) < ( U_AwpB1000 - U_awg_kucuk ) then
begin
    U_AwpB1000 := U_awg_buyuk;
end
else
begin
    U_AwpB1000 := U_awg_buyuk;
end;

ado_wire_table.Active :=False;
ado_wire_table.SQL.Clear;
ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + Nokta_virgu(U_AwpB1000);
ado_wire_table.Active := True;

Edit60.Text := floattostr (ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value);
Edit63.Text := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
Edit61.Text := ado_wire_table.FieldByName('Weight_gr/cm').Value;
Edit62.Text := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Edit21.Text := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;

U_AWGp := ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value;
U_AwBp := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
U_Densityp := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;

end;

U_Rp := SimpleRoundTo(((U_MLT) * (U_Np) * (U_densityp) * (Power(10 ,-6))),-
1);
U_Pp := SimpleRoundTo((3 * (Power(U_Ipphase ,2)) * (U_Rp)),-2);
U_Vs := (( strtofloat('0.740')) * ((U_vout) + (2 * (U_Vdiyt))));
U_Ns := Round((((U_Np) * (U_Vs)) / (U_Vin)) * (1 + ((U_regulasyon) / 100))));
U_Kus := ((U_Ku) / 2);
U_AwsB := SimpleRoundTo((((U_Kus) * (U_Wa)) / (4 * (U_Ns))),-6);
U_AwsB1000 := (U_AwsB * 1000);
// Sekonder Bakır Tel Tablo seçim değerleri olacak

begin
    ado_ei.Active :=False;
    ado_ei.SQL.Clear;
    ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Min(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 >' + nokta_virgu(U_AwsB1000);
    ado_ei.Active := True;

```

## EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

        ado_wire_table.Active :=False;
        ado_wire_table.SQL.Clear;
        ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
        ado_wire_table.Active := True;
        U_awgs_buyuk :=
StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

        ado_ei.Active :=False;
        ado_ei.SQL.Clear;
        ado_ei.SQL.Text := 'SELECT Max(Bare_Area_cm2) FROM wire_table
WHERE Bare_Area_cm2 <' + nokta_virgu(U_AwsB1000);
        ado_ei.Active := True;
        // ShowMessage(inttostr(ado_ei.recordcount));
        // ShowMessage(ado_eiExpr1000.Value);
        ado_wire_table.Active :=False;
        ado_wire_table.SQL.Clear;
        ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + nokta_virgu(ado_eiExpr1000.Value);
        ado_wire_table.Active := True;
        U_awgs_kucuk :=
StrToFloat(ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value);

        if (U_awgs_buyuk - U_AwsB1000 ) > ( U_AwsB1000 - U_awgs_kucuk ) then
            begin
                U_AwsB1000 := U_awgs_kucuk;
            end
        else if (U_awgs_buyuk - U_AwsB1000 ) < ( U_AwsB1000 - U_awgs_kucuk ) then
            begin
                U_AwsB1000 := U_awgs_buyuk;
            end
        else
            begin
                AwsB1000 := awgs_buyuk;
            end;

        ado_wire_table.Active :=False;
        ado_wire_table.SQL.Clear;
        ado_wire_table.SQL.Text := 'SELECT * FROM wire_table WHERE
Bare_Area_cm2 =' + Nokta_virgu(U_AwsB1000);
        ado_wire_table.Active := True;

        Edit64.Text := floattostr (ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value);

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

Edit65.Text := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
Edit67.Text := ado_wire_table.FieldByName('Weight_gr/cm').Value;
Edit66.Text := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
Edit33.Text := ado_wire_table.FieldByName('diameter_cm').Value;

U_AWGs := ado_wire_table.FieldByName('AWG').Value;
U_AwBs := ado_wire_table.FieldByName('Bare_Area_cm2').Value;
U_Densitys := ado_wire_table.FieldByName('density_20C').Value;
end;

U_Rs := SimpleRoundTo(((U_MLT) * (U_Ns) * (U_densitys) * (Power(10 , -6))), -3);
U_Isline := (( strtfloat('0.471')) * (U_Iout));
U_Isphase := SimpleRoundTo(((U_Isline) / ( strtfloat('1.73'))), -2);
U_Ps := SimpleRoundTo(((3 * (Power(U_Isphase , 2))) * (U_Rs)), -2);
U_Pcu := ((U_Pp) + (U_Ps));
U_regulasyon2 := SimpleRoundTo((((U_Pcu) / (U_Pout)) * 100), -2);
U_Wattkilo := SimpleRoundTo((strtfloat('0.000557')) * (Power(U_f , strtfloat('1.68')) * (Power (U_Bac , strtfloat('1.86'))), -2);
U_Pfe := SimpleRoundTo((((U_Wattkilo) * (U_Wtfe)) / 1000), -2);
U_Ptoplamlam := ((U_Pcu) + (U_Pfe));
U_sonverim := SimpleRoundTo((((U_Pout) / ((U_Pout) + (U_Ptoplamlam))) * 100), -1);
U_sonverim100 := (U_sonverim * 1);
U_Birimkayip := SimpleRoundTo(((U_Ptoplamlam) / (U_At)), -4);
U_Tr2 := SimpleRoundTo((450 * ( Power(U_Birimkayip , strtfloat('0.826'))), -2);
U_AwBp_KU := (U_AwBp / 1000);
U_AwBs_KU := (U_AwBs / 1000);
U_Kup1 := SimpleRoundTo(((4 * (U_Np) * (U_AwBp_KU)) / (U_Wa)), -3);
U_Kus1 := SimpleRoundTo(((4 * (U_Ns) * (U_AwBs_KU)) / (U_Wa)), -3);
U_Ku2 := ((U_Kus1) + (U_Kup1));

frm_uc_fazli_hesaplamalar := Tfrm_uc_fazli_hesaplamalar.Create(Self);
frm_ana.Visible := False;
frm_uc_fazli_hesaplamalar.ShowModal;
frm_uc_fazli_hesaplamalar.Free;

{

ShowMessage (floattostr(U_Pout));
ShowMessage (floattostr(U_Pgor));
ShowMessage (floattostr(U_Ke));
ShowMessage (floattostr(U_Kg));
ShowMessage (floattostr(U_Np));
ShowMessage (floattostr(U_Ipline));

```

### EK – 1 (Devamı) Transformatör Tasarım Ana Ekran Yazım Kodları

```

        ShowMessage (floattostr(U_Ipphase));
        ShowMessage (floattostr(U_Kup));
        ShowMessage (floattostr(U_AwpB));
        ShowMessage (floattostr(U_AwpB1000));
        ShowMessage (floattostr(U_Rp));
        ShowMessage (floattostr(U_Pp));
        ShowMessage (floattostr(U_Vs));
        ShowMessage (floattostr(U_Ns));
        ShowMessage (floattostr(U_Kus));
        ShowMessage (floattostr(U_AwsB));
        ShowMessage (floattostr(U_Rs));
        ShowMessage (floattostr(U_Isline));
        ShowMessage (floattostr(U_Isphase));
        ShowMessage (floattostr(U_Ps));
        ShowMessage (floattostr(U_Pcu));
        ShowMessage (floattostr(U_regulasyon2));
        ShowMessage (floattostr(U_Wattkilo));
        ShowMessage (floattostr(U_Pfe));
        ShowMessage (floattostr(U_Ptoplaml));
        ShowMessage (floattostr(U_sonverim));
        ShowMessage (floattostr(U_Birimkayip));
        ShowMessage (floattostr(U_Tr2));
        ShowMessage (floattostr(U_Kup1));
        ShowMessage (floattostr(U_Kus1));
        ShowMessage (floattostr(U_Ku2));

    }

end;

end;
function Tfrm_ana.nokta_virgu(s: Double): string;
begin
    result := StringReplace(FloatToStr(s) , ',' , '.' , [RfIgnoreCase]);
end;
end.
```

**EK – 2 Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı Kodları**

```
unit tek_fazli_hesaplamalar;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
  Dialogs, StdCtrls;
```

```
type
```

```
  Tfrm_tek_fazli_hesaplamalar = class(TForm)
```

```
    Edit2: TEdit;
```

```
    Edit3: TEdit;
```

```
    Edit4: TEdit;
```

```
    Edit5: TEdit;
```

```
    Edit6: TEdit;
```

```
    Edit7: TEdit;
```

```
    Edit8: TEdit;
```

```
    Edit9: TEdit;
```

```
    Edit10: TEdit;
```

```
    Edit11: TEdit;
```

```
    Edit12: TEdit;
```

```
    Edit13: TEdit;
```

```
    Edit14: TEdit;
```

```
    Edit15: TEdit;
```

```
    Edit16: TEdit;
```

```
    Edit17: TEdit;
```

```
    Edit18: TEdit;
```

```
    Edit19: TEdit;
```

```
    Edit20: TEdit;
```

```
    Edit21: TEdit;
```

```
    Edit22: TEdit;
```

```
    Edit23: TEdit;
```

```
    Label1: TLabel;
```

```
    Elk: TLabel;
```

```
    Label3: TLabel;
```

```
    Label4: TLabel;
```

```
    Label5: TLabel;
```

```
    Label6: TLabel;
```

```
    Label7: TLabel;
```

```
    Label8: TLabel;
```

```
    Label9: TLabel;
```

```
    Label10: TLabel;
```

```
    Label11: TLabel;
```

```
    Label12: TLabel;
```

```
    Label13: TLabel;
```

```
    Label14: TLabel;
```

**EK – 2 (Devamı) Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı****Kodları**

Label15: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Edit38: TEdit;  
Label49: TLabel;  
Label58: TLabel;  
Label50: TLabel;  
Edit34: TEdit;  
Edit35: TEdit;  
Label51: TLabel;  
Edit37: TEdit;  
Label53: TLabel;  
Label55: TLabel;  
Edit39: TEdit;  
Edit41: TEdit;  
Label57: TLabel;  
Edit40: TEdit;  
Label56: TLabel;  
Label54: TLabel;  
Edit36: TEdit;  
Label52: TLabel;  
Edit42: TEdit;  
Label59: TLabel;  
Edit43: TEdit;  
Label62: TLabel;  
Label63: TLabel;  
Edit44: TEdit;  
Label66: TLabel;  
Edit46: TEdit;  
Label64: TLabel;  
Edit45: TEdit;  
Label2: TLabel;  
Edit25: TEdit;  
Label24: TLabel;  
Label25: TLabel;  
Edit26: TEdit;  
Label26: TLabel;

**EK – 2 (Devamı) Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı****Kodları**

Edit27: TEdit;  
Label27: TLabel;  
Edit28: TEdit;  
Label28: TLabel;  
Label29: TLabel;  
Label30: TLabel;  
Label31: TLabel;  
Label32: TLabel;  
Label33: TLabel;  
Label34: TLabel;  
Label35: TLabel;  
Label36: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Label38: TLabel;  
Label39: TLabel;  
Label40: TLabel;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Label45: TLabel;  
Label47: TLabel;  
Label48: TLabel;  
Label46: TLabel;  
Label61: TLabel;  
Label65: TLabel;  
Label67: TLabel;  
Label68: TLabel;  
Label69: TLabel;  
Label70: TLabel;  
Label71: TLabel;  
Label72: TLabel;  
Label73: TLabel;  
Label74: TLabel;  
Label75: TLabel;  
Label76: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Label77: TLabel;  
Label78: TLabel;  
Edit29: TEdit;  
Label79: TLabel;  
Label60: TLabel;  
Edit30: TEdit;

## EK – 2 (Devamı) Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı

### Kodları

```

Edit24: TEdit;
Label80: TLabel;
Label81: TLabel;
Label82: TLabel;
procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  frm_tek_fazli_hesaplamalar: Tfrm_tek_fazli_hesaplamalar;

implementation

uses ana;

{$R *.dfm}

procedure Tfrm_tek_fazli_hesaplamalar.FormClose(Sender: TObject;
  var Action: TCloseAction);
begin
  frm_ana.Visible:= True;
end;
procedure Tfrm_tek_fazli_hesaplamalar.FormCreate(Sender: TObject);
begin
  // Hesaplama Sonuçları
  Edit2.Text := floattostr( frm_ana.Pgor );
  Edit3.Text := floattostr( frm_ana.Ke );
  Edit4.Text := floattostr( frm_ana.Kg );
  Edit5.Text := floattostr( frm_ana.Np );
  Edit6.Text := floattostr( frm_ana.J );
  Edit7.Text := floattostr( frm_ana.Iin );
  Edit8.Text := floattostr( frm_ana.AwpB );
  Edit9.Text := floattostr( frm_ana.Rp );
  Edit10.Text := floattostr( frm_ana.Pp );
  Edit11.Text := floattostr( frm_ana.Ns );
  Edit12.Text := floattostr( frm_ana.AwsB );
  Edit13.Text := floattostr( frm_ana.Rs );
  Edit14.Text := floattostr( frm_ana.Ps );

```

## EK – 2 (Devamı) Transformatör Tasarım Tek Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı

### Kodları

```

Edit15.Text := floattostr( frm_ana.Pcu );
Edit16.Text := floattostr( frm_ana.regulasyon2 );
Edit17.Text := floattostr( frm_ana.wattkilo );
Edit18.Text := floattostr( frm_ana.Pfe );
Edit19.Text := floattostr( frm_ana.Ptoplamlam );
Edit20.Text := floattostr( frm_ana.birimkayip );
Edit21.Text := floattostr( frm_ana.Tr2 );
Edit22.Text := floattostr( frm_ana.Kus );
Edit23.Text := floattostr( frm_ana.Kup );
Edit24.Text := floattostr( frm_ana.Ku2 );
Edit30.Text := floattostr( frm_ana.Sonverim100 );
// Demir Nüve Değerleri
Edit42.Text := frm_ana.edit42.Text;
Edit34.Text := frm_ana.edit34.Text;
Edit35.Text := frm_ana.edit35.Text;
Edit36.Text := frm_ana.edit36.Text;
Edit37.Text := frm_ana.edit37.Text;
Edit38.Text := frm_ana.edit38.Text;
Edit39.Text := frm_ana.edit39.Text;
Edit40.Text := frm_ana.edit40.Text;
Edit41.Text := frm_ana.edit41.Text;

// Primer Bakır Tel Değerleri
Edit43.Text := frm_ana.edit43.Text;
Edit44.Text := frm_ana.edit44.Text;
Edit45.Text := frm_ana.edit45.Text;
Edit46.Text := frm_ana.edit46.Text;
Edit1.Text := frm_ana.edit24.Text;

// Sekonder Bakır Tel Değerleri
Edit25.Text := frm_ana.edit48.Text;
Edit26.Text := frm_ana.edit49.Text;
Edit27.Text := frm_ana.edit52.Text;
Edit28.Text := frm_ana.edit51.Text;
Edit29.Text := frm_ana.edit27.Text;
end;

end.

```

### **EK – 3 Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı Kodları**

```
unit uc_fazli_hesaplamalar;
```

```
interface
```

```
uses
```

```
Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,  
Dialogs, StdCtrls;
```

```
type
```

```
Tfrm_uc_fazli_hesaplamalar = class(TForm)
```

```
Label1: TLabel;
```

```
Edit2: TEdit;
```

```
Label28: TLabel;
```

```
Label13: TLabel;
```

```
Edit14: TEdit;
```

```
Label40: TLabel;
```

```
Label38: TLabel;
```

```
Edit15: TEdit;
```

```
Label14: TLabel;
```

```
Edit3: TEdit;
```

```
Elk: TLabel;
```

```
Label3: TLabel;
```

```
Edit4: TEdit;
```

```
Label39: TLabel;
```

```
Label29: TLabel;
```

```
Edit5: TEdit;
```

```
Label4: TLabel;
```

```
Label5: TLabel;
```

```
Edit6: TEdit;
```

```
Label30: TLabel;
```

```
Label31: TLabel;
```

```
Edit7: TEdit;
```

```
Label6: TLabel;
```

```
Label7: TLabel;
```

```
Edit8: TEdit;
```

```
Label32: TLabel;
```

```
Label33: TLabel;
```

```
Edit9: TEdit;
```

```
Label8: TLabel;
```

```
Label9: TLabel;
```

```
Edit10: TEdit;
```

```
Label34: TLabel;
```

```
Label35: TLabel;
```

```
Edit11: TEdit;
```

```
Label10: TLabel;
```

```
Label11: TLabel;
```

**EK – 3 (Devamı) Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı****Kodları**

Edit12: TEdit;  
Label36: TLabel;  
Label37: TLabel;  
Edit13: TEdit;  
Label12: TLabel;  
Label49: TLabel;  
Edit42: TEdit;  
Label58: TLabel;  
Edit34: TEdit;  
Label50: TLabel;  
Label52: TLabel;  
Label54: TLabel;  
Label56: TLabel;  
Edit40: TEdit;  
Label65: TLabel;  
Label46: TLabel;  
Label48: TLabel;  
Label47: TLabel;  
Edit36: TEdit;  
Edit38: TEdit;  
Edit41: TEdit;  
Label57: TLabel;  
Label55: TLabel;  
Label53: TLabel;  
Label51: TLabel;  
Label69: TLabel;  
Label68: TLabel;  
Label61: TLabel;  
Label67: TLabel;  
Edit39: TEdit;  
Edit37: TEdit;  
Edit35: TEdit;  
Label59: TLabel;  
Edit43: TEdit;  
Label62: TLabel;  
Edit44: TEdit;  
Label63: TLabel;  
Label72: TLabel;  
Label64: TLabel;  
Edit45: TEdit;  
Label70: TLabel;  
Label74: TLabel;  
Edit46: TEdit;

**EK – 3 (Devamı) Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı****Kodları**

Label66: TLabel;  
Label76: TLabel;  
Edit1: TEdit;  
Label77: TLabel;  
Label79: TLabel;  
Edit29: TEdit;  
Label78: TLabel;  
Label26: TLabel;  
Edit27: TEdit;  
Label75: TLabel;  
Label71: TLabel;  
Edit28: TEdit;  
Label27: TLabel;  
Label73: TLabel;  
Edit26: TEdit;  
Label25: TLabel;  
Label24: TLabel;  
Edit25: TEdit;  
Label2: TLabel;  
Label23: TLabel;  
Label22: TLabel;  
Label21: TLabel;  
Label20: TLabel;  
Label60: TLabel;  
Label19: TLabel;  
Label18: TLabel;  
Label17: TLabel;  
Label16: TLabel;  
Label15: TLabel;  
Edit16: TEdit;  
Edit17: TEdit;  
Label41: TLabel;  
Label42: TLabel;  
Edit18: TEdit;  
Edit19: TEdit;  
Label43: TLabel;  
Label44: TLabel;  
Edit20: TEdit;  
Edit30: TEdit;  
Label45: TLabel;  
Edit22: TEdit;  
Edit23: TEdit;  
Edit24: TEdit;

### **EK – 3 (Devamı) Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı**

#### **Kodları**

```

Label80: TLabel;
Edit31: TEdit;
Label81: TLabel;
Label82: TLabel;
Edit32: TEdit;
Label83: TLabel;
Edit33: TEdit;
Label84: TLabel;
Label85: TLabel;
Edit47: TEdit;
Label86: TLabel;
Edit48: TEdit;
Label87: TLabel;
Label88: TLabel;
Edit49: TEdit;
Label89: TLabel;
Edit50: TEdit;
Label90: TLabel;
Label91: TLabel;
Label92: TLabel;

procedure FormClose(Sender: TObject; var Action: TCloseAction);
procedure FormCreate(Sender: TObject);
private
  { Private declarations }
public
  { Public declarations }
end;

var
  frm_uc_fazli_hesaplamalar: Tfrm_uc_fazli_hesaplamalar;

implementation

uses ana;

{$R *.dfm}
procedure Tfrm_uc_fazli_hesaplamalar.FormClose(Sender: TObject;
  var Action: TCloseAction);
begin
  frm_ana.Visible:= True;
end;

```

### EK – 3 (Devamı) Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı

#### Kodları

```
procedure Tfrm_uc_fazli_hesaplamalar.FormCreate(Sender: TObject);
begin
```

```
// Hesaplama Sonuçları
```

```
Edit31.Text := floattostr( frm_ana.U_Pout );
Edit2.Text := floattostr( frm_ana.U_Pgor );
Edit3.Text := floattostr( frm_ana.U_Ke );
Edit4.Text := floattostr( frm_ana.U_Kg );
Edit5.Text := floattostr( frm_ana.U_Np );
Edit6.Text := floattostr( frm_ana.U_Ipline );
Edit7.Text := floattostr( frm_ana.U_Ipphase );
Edit32.Text := floattostr( frm_ana.U_Kup );
Edit8.Text := floattostr( frm_ana.U_AwpB );
Edit9.Text := floattostr( frm_ana.U_Rp );
Edit10.Text := floattostr( frm_ana.U_Pp );
Edit33.Text := floattostr( frm_ana.U_Vs );
Edit11.Text := floattostr( frm_ana.U_Ns );
Edit47.Text := floattostr( frm_ana.U_Kus );
Edit12.Text := floattostr( frm_ana.U_AwsB );
Edit13.Text := floattostr( frm_ana.U_Rs );
Edit48.Text := floattostr( frm_ana.U_Isline );
Edit49.Text := floattostr( frm_ana.U_Isphase );
Edit14.Text := floattostr( frm_ana.U_Ps );
Edit15.Text := floattostr( frm_ana.U_Pcu );
Edit16.Text := floattostr( frm_ana.U_regulasyon2 );
Edit17.Text := floattostr( frm_ana.U_Wattkilo );
Edit18.Text := floattostr( frm_ana.U_Pfe );
Edit19.Text := floattostr( frm_ana.U_Ptoplam );
Edit30.Text := floattostr( frm_ana.U_sonverim100 );
Edit20.Text := floattostr( frm_ana.U_Birimkayip );
Edit23.Text := floattostr( frm_ana.U_Tr2 );
Edit24.Text := floattostr( frm_ana.U_Kup1 );
Edit22.Text := floattostr( frm_ana.U_Kus1 );
Edit50.Text := floattostr( frm_ana.U_Ku2 );
```

```
// Demir Nüve Değerleri
```

```
Edit42.Text := frm_ana.edit47.Text;
Edit34.Text := frm_ana.edit50.Text;
Edit35.Text := frm_ana.edit56.Text;
Edit36.Text := frm_ana.edit53.Text;
Edit37.Text := frm_ana.edit57.Text;
Edit38.Text := frm_ana.edit54.Text;
```

**EK – 3 (Devamı) Transformatör Tasarım Üç Fazlı Hesaplama Ekran Çıktısı****Kodları**

```
Edit39.Text := frm_ana.edit58.Text;  
Edit40.Text := frm_ana.edit55.Text;  
Edit41.Text := frm_ana.edit59.Text;
```

```
// Primer Bakır Tel Değerleri
```

```
Edit43.Text := frm_ana.edit60.Text;  
Edit44.Text := frm_ana.edit63.Text;  
Edit45.Text := frm_ana.edit61.Text;  
Edit46.Text := frm_ana.edit62.Text;  
Edit1.Text := frm_ana.edit21.Text;
```

```
// Sekonder Bakır Tel Değerleri
```

```
Edit25.Text := frm_ana.edit64.Text;  
Edit26.Text := frm_ana.edit65.Text;  
Edit27.Text := frm_ana.edit66.Text;  
Edit28.Text := frm_ana.edit67.Text;  
Edit29.Text := frm_ana.edit33.Text;  
end;  
end.
```

## EK – 4 Transformatör Tasarım Program Ekranları



Şekil 1.1 Transformatör Tasarım Ana Ekranı

# EK – 4 (Devamı) Transformatör Tasarım Program Ekranları

**Tek Fazlı** **Tek Fazlı Sabitler** **Üç Fazlı** **Üç Fazlı Sabitler**

Laminasyon Değeri: **E1 Laminasyon**

Giriş Voltajı Vin: **115** Volt

Çıkış Voltajı Vout: **115** Volt

Çıkış Akımı Iout: **2,17** Amper

Çıkış Gücü Pout: **250** Watt

Verim: **0,95**

**Tek Fazlı Tasarım İçin Kullanılan Sabitler**

Regülasyon: **5** %

Flux Density (Bac): **1,6** Tesla

Pencere Kullanım Sabiti (Ku): **0,4**

Frekans: **47** Hertz

Sabit Değerleri Değiştirmek İçin Tıklayınız

**Laminasyon Şekli:**

**Channel Bracket Assembly**

| Part No. | D     | E     | F     | G     | H     | A     | W     |
|----------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|
| E1-375   | 0,933 | 0,933 | 0,794 | 1,905 | 2,857 | 2,857 | 1,429 |
| E1-621   | 1,270 | 1,270 | 0,794 | 2,064 | 3,175 | 3,175 | 1,588 |
| E1-625   | 1,388 | 1,388 | 0,794 | 2,381 | 3,493 | 3,493 | 1,746 |
| E1-750   | 1,905 | 1,905 | 0,953 | 2,857 | 3,810 | 3,810 | 1,905 |
| E1-875   | 2,223 | 2,223 | 1,111 | 3,333 | 4,445 | 4,445 | 2,223 |
| E1-100   | 2,540 | 2,540 | 1,270 | 3,810 | 5,715 | 5,715 | 2,858 |
|          |       |       |       |       |       |       | 8,571 |

**Hesapla**

Şekil 1.2 Transformatör Tasarım Tek Fazlı Transformatör Hesaplama Ana Ekranı

## EK – 4 (Devamı) Transformatör Tasarım Program Ekranları

| Tek Fazlı                                                                      | Tek Fazlı Sabitler | Üç Fazlı | Üç Fazlı Sabitler |
|--------------------------------------------------------------------------------|--------------------|----------|-------------------|
| <p><b>Sıcaklık</b> <input type="text" value="30"/> <b>OC</b></p>               |                    |          |                   |
| <p><b>Regülasyon</b> <input type="text" value="5"/> <b>%</b></p>               |                    |          |                   |
| <p><b>Flux Density (Bac)</b> <input type="text" value="1,6"/> <b>Tesla</b></p> |                    |          |                   |
| <p><b>Pencere Kullanım Sabiti (Ku)</b> <input type="text" value="0,4"/></p>    |                    |          |                   |
| <p><b>Frekans</b> <input type="text" value="47"/> <b>Hertz</b></p>             |                    |          |                   |
| <p><b>Dalga Biçimi</b> <b>Sin. Dalga</b> <input type="button" value="v"/></p>  |                    |          |                   |
| <p><b>Manyetik Materyal</b> <b>Silikon M 6 X</b></p>                           |                    |          |                   |
| <p><b>Kullanıcı Değerlerini Kullan</b></p>                                     |                    |          |                   |
| <p><b>Tek Fazlı Hesaplama Sayfasına Dönmek İçin Tıklayınız</b></p>             |                    |          |                   |
| <p><b>Seçilen Demir Nüve Değerleri:</b></p>                                    |                    |          |                   |
| <p><b>Part No:</b> <input type="text"/></p>                                    |                    |          |                   |
| <p><b>Wtfe:</b> <input type="text"/> <b>Wa:</b> <input type="text"/></p>       |                    |          |                   |
| <p><b>Wtcus:</b> <input type="text"/> <b>Ap:</b> <input type="text"/></p>      |                    |          |                   |
| <p><b>MLT:</b> <input type="text"/> <b>Kg:</b> <input type="text"/></p>        |                    |          |                   |
| <p><b>Ac:</b> <input type="text"/> <b>At:</b> <input type="text"/></p>         |                    |          |                   |
| <p><b>Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:</b></p>                              |                    |          |                   |
| <p><b>#AWG:</b> <input type="text"/></p>                                       |                    |          |                   |
| <p><b>AwpB:</b> <input type="text"/> <b>Ağırlık:</b> <input type="text"/></p>  |                    |          |                   |
| <p><b>Density:</b> <input type="text"/> <b>Çap:</b> <input type="text"/></p>   |                    |          |                   |
| <p><b>Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:</b></p>                            |                    |          |                   |
| <p><b>#AWG:</b> <input type="text"/></p>                                       |                    |          |                   |
| <p><b>AwsB:</b> <input type="text"/> <b>Ağırlık:</b> <input type="text"/></p>  |                    |          |                   |
| <p><b>Density:</b> <input type="text"/> <b>Çap:</b> <input type="text"/></p>   |                    |          |                   |

Şekil 1.3 Transformatör Tasarım Tek Fazlı Transformatör Sabitleri Ana Ekranı



## EK – 4 (Devamı) Transformatör Tasarım Program Ekranları

**Tek Fazlı** **Tek Fazlı Sabitler** **Üç Fazlı** **Üç Fazlı Sabitler**

Sıcaklık: 30 OC  
 Regülasyon: 5 %  
 Flux Densite B: 1,4 Tesla  
 Pencere Kullanımı Ku: 0,4  
 Diyot Drop Vd: 1 Volt  
 Frekans: 60 Hertz

En. Düşük  
 Silikon M 6 X  
 Manyetik Materyal

Kullanıcı Değerlerini Kullan  
 Üç Fazlı Hesaplama Sayfasına Dönmek İçin Tıklayınız

**Seçilen Demir Nüve Değerleri:**  
 Part No:   
 Wtfe:  Wa:   
 Wtco:  Ap:   
 MLT:  Kg:   
 Ac:  At:

**Seçilen Primer Bakıl Tel Değerleri:**  
 #AWG:   
 AwpB:  Ağırlık:   
 Densityp:  Çap:

**Seçilen Sekonder Bakıl Tel Değerleri:**  
 #AWG:   
 AwdB:  Ağırlık:   
 Densitys:  Çap:

Şekil 1.5 Transformatör Tasarım Üç Fazlı Transformatör Sabitleri Ana Ekranı

## EK – 4 (Devamı) Transformatör Tasarım Program Ekranları

**TEK FAZLI TRANSFORMATÖR HESAPLAMA SONUÇLARI**

|                               |         |                       |                                         |        |                      |
|-------------------------------|---------|-----------------------|-----------------------------------------|--------|----------------------|
| Pgwr                          | 513     | Watt                  | Sekonder Bakır Kaybı Ps                 | 5,7    | Watt                 |
| Elektriksel durum Ke          | 1,62    |                       | Toplam Bakır Kaybı Pcu                  | 11,72  | Watt                 |
| Nüve Geometrisi Kg            | 37,579  | cm <sup>5</sup>       | Yeni Regülasyon                         | 4,69   | %                    |
| Primer Sarım Sayısı Np        | 250     | Turn                  | Kilogram Başına Watt Hesabı             | 0,86   | Watt / Kg            |
| Primer Akı Yınluluğu J        | 256     | Ang / cm <sup>2</sup> | Demir Kayıpları Pfe                     | 2,01   | Watt                 |
| Giriş Akımı Iin               | 2,208   | Ang.                  | Toplam Kayıp Pfe + Pcu                  | 13,73  | Watt                 |
| Primer Boş Kablo Alanı Awpb   | 0,0009  | cm <sup>2</sup>       | Birim Alana Düşen Kayıp                 | 0,0207 | Watt/cm <sup>2</sup> |
| Primer Direnç Rp              | 1,15    | Ohm                   | Son Verim                               | 97,32  | %                    |
| Primer Bakır Kayıpları Pp     | 6,02    | Watt                  | Sıcaklık Değişimi                       | 23,96  | OC                   |
| Sekonder Sarım Sayısı Ns      | 262     | Turn                  | Primer Pencere Kullanım Sabiti Kup      | 0,204  |                      |
| Sekonder Boş Kablo Alanı AwSB | 0,00840 | cm <sup>2</sup>       | Sekonder Pencere Kullanım Sabiti Kus    | 0,204  |                      |
| Sekonder Direnç Rs            | 1,21    | Ohm                   | Yeni Toplam Pencere Kullanım Sabiti Ku2 | 0,408  |                      |

| Seçilen Demir Nüve Değerleri: |                       | Seçilen Primer Bakal Tel Değerleri: |                       | Seçilen Sekonder Bakal Tel Değerleri: |                       |
|-------------------------------|-----------------------|-------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| Part No:                      | E1 - 150              | AwpB:                               | #AWG:                 | AwsB:                                 | #AWG:                 |
| Wtfe:                         | 2394 Gram             | Wt:                                 | 18                    | Wt:                                   | 18                    |
| WtCu:                         | 853 Gram              | Ağırlık:                            | 0,228 cm <sup>2</sup> | Ağırlık:                              | 0,228 cm <sup>2</sup> |
| MLT:                          | 22 cm                 | Densitys:                           | 209,5 mikrohm/cm      | Densitys:                             | 209,5 mikrohm/cm      |
| AG:                           | 13,79 cm <sup>2</sup> | Çap:                                | 0,109 cm              | Çap:                                  | 0,109 cm              |

Şekil 1.6 Transformatör Tasarım Tek Fazlı Transformatör Sonuçlar Ana Ekranı



## ÖZGEÇMİŞ

### Kişisel Bilgiler

Soyadı, adı : SARUHAN, Hüsametdin R.  
 Uyruğu : T.C.  
 Doğum tarihi ve yeri : 10.12.1979 BİTLİS  
 Medeni hali : Evli  
 Telefon : 0 (312) 4668274 / 301  
 Faks : 0 (312) 4668281  
 e-mail : [hrsaruhan@hotmail.com](mailto:hrsaruhan@hotmail.com)

### Kişisel Bilgiler

| Derece | Eğitim Birimi                                            | Mezuniyet Tarihi |
|--------|----------------------------------------------------------|------------------|
| Lisans | İnönü Üniversitesi / Elektrik<br>Elektronik Mühendisliği | 2002             |
| Lise   | Van Ziraat Meslek Lisesi                                 | 1998             |

### İş Deneyimi

| Yıl         | Yer                                    | Görev                            |
|-------------|----------------------------------------|----------------------------------|
| 1999 - 2002 | Kahramanmaraş T.A.E.M                  | Ziraat Teknisyeni                |
| 2002 - ...  | Tarım ve Köyişleri Bakanlığı<br>TEDGEM | Elektrik Elektronik<br>Mühendisi |

### Yabancı Dil

İngilizce, Almanca