

# Transistörler için Orta Frekans Transformatörlerini Nasıl Tasarlamalı

Yazan :  
Koger E. U'EBSTEK

Ceviren :  
**Sungur PAMİB**  
Elek. Y. Müh.  
M.SB.

## ÖZET :

O. / . transistor ve transformatörleri için akordlu kuplaj devrelerinin tasarlanıp gerçekleştirilmesi kolektör ve baz empedanslarının uygulanması ile beraber arzulanan band genişliğinin sağlanması ve devredeki kaybını asgari olması gibi hususların yerine getirilmesini gerektirir. Bu makalede, teferuatlı bir tasarlama prosedürü anlatılmakta, tek ve çift-akordlu devreler için grafikler verilmektedir.

Elektron lambalı yükselteçlerde kullanılan orta frekans transformatörleri esas olarak, elektron lambasının empedanslarına bağlı değildir, ve 455 kc/s İlk orta frekansta arzulanan band geçirme özellikleri lambanın yüklemesine bağlı olmadan tayin edilebilir. Alıcılarda kullanılan pentodların anod direnci çoğunlukla 1/2 Megaohm yahut daha fazla olduğundan anodun yüklemesi ihmal edilebilecek kadar azdır, jzgaranın yüklemesi ise belirsizdir.

Transistörlerde ise durum böyle değildir. Meselâ, AF 117 gibi bir yüksek frekans transistorunun kolektör empedansı 455 kc/s de 100,000 ohm (veyahut daha fazla olabilir), fakat giriş empedansı ortak emetör konumunda 300-500 ohm civarındadır. Azami güç transferi sağlamak için empedans uygunluğu önemlidir ve transistorun yüklemesi göz önüne alınmadan transformatörün band geçirme özelliklerini tayin etmek imkânsızdır.

Tek - akordlu transformatörler transistorlu O. f. yükselteçlerinde çok yaygın olarak kulla-

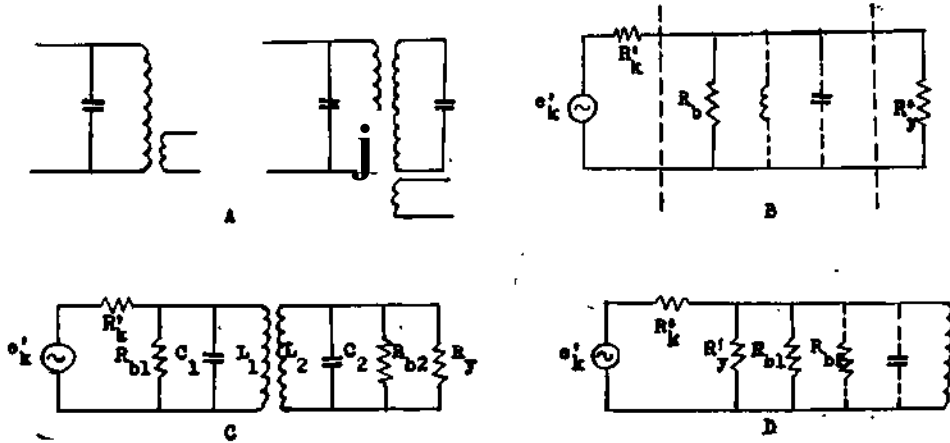
nılmışlardır, çünkü 3 db bñind genişliği için bu transformatörlerin devredeki kaybı çift - akordlu nunklne nazaran daha azdır. Buna karşılık, komşu kanalın zayıflatılması mühim olunca çift-akordlu transformatörlerin devredeki kaybı ekseriya tek-akordlu transformatörlere nazaran daha az olur. Mevcut yüksek frekans. transistörleri muayyen bir kazanç sağlayabildiğinden transformatör kayıplarını mümkün en> alçak seviyede tutmak gerekmektedir.

Şekil - 1A da tek ve çift-akordlu transformatörler için pratik tertipler görülmektedir.

Tek ve çift-akordlu o.f. transformatörlerini tasarlamak için denklemler kolayca elde edilebilir. Bildiğimiz okordlu kuplaj şebekelerini transformatör olarak düşünelim, kaynak ve yük empedanslarını bire eşit sarım oranına göre primere transfer edelim, bobinin yüksüz rezonans empedansını da paralel bağlı eşdeğer, bir kayıp direnci ile gösterelim.

Tek-akordlu Transformatörün Tasarlanması

Tek-akordlu transformatörün eşdeğer modeli için şekil - 1 B ye bakın. Burada :



Şekil : 1 - A) Tek ve çift-akordlu transformatörler, B) Tek-akordlu transformatörün eşdeğer devresi, C) Çift-akordlu transformatörün devresi ve D) eşdeğer devresi.

$R_k$  = Kaynak empedansı,  
 $R'_k$  = Bire eşit sarım oranına göre transfer edilmiş kaynak empedansı,  
 $R_b$  = Yüksüz bobinin rezonans dışındaki empedansı,

$R_y$  = Yük empedansı,  
 $R'_y$  = Bire eşit sarım oranına göre transfer edilmiş yük empedansıdır.

Eğer, hem  $R'_k$  hem de  $R'_y$  değiştirilebilirse,  $R'_k = R'_y$  olduğunda yüke azami güç transferi olabilecektir.

Temel teoriden hatırlanacağı gibi

$$Q_{yz} = \frac{X_L}{R'_k} \text{ dir, burada :}$$

$Q_{yz}$  = Yüksüz bobinin Q'su,  
ve

$X_L$  = Bobinin reaktansıdır.

$$\text{Yüklü bobin Q'su ise } Q_y = \frac{(R'_k // R_b // R'_y)}{X_L}$$

dir ve arzulanan band genişliğine göre tayin edilir :

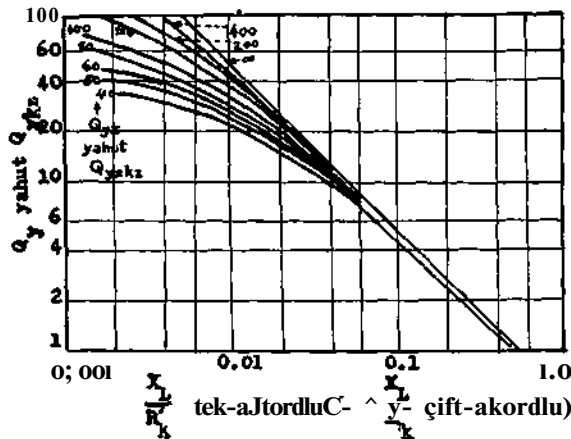
$$Q_y = \left[ \frac{1}{1/R'_y + 1/R_b + X/R'_k} \right] \left[ \frac{1}{X_L} \right]$$

burada  $X_L / R_b = 1/Q_{y2}$  dir ve azami transferi için  $R'_k = R'_y$  olmalıdır.

$X_L / R'_k$  için çözersek :

$$X_L / R'_k = 1/2 (1/Q_y - 1/Q_{y1}) \quad (D)$$

Şekil : 2 de, çeşitli  $Q_y$  ve  $Q^{\wedge}$  değerleri için 1. denklemin grafiği görülmektedir. Tek bir transformörün band genişliği düşünülürse



Şekil 2 - Bobin reaktansı / kaynak empedansı oranının yüklü  $Q_y$ 'ya karşı grafiği.

$Q_y = f_o/2|A|$ dir, burada:  
 $Q_y$  = Yüklü bobinin Q'su,  
 $f_o$  = Orta frekans,  
 $A$  = 3db lik zayıflamanın olduğu  $f_o$  dan sapma miktarıdır.

Hepsi aynı frekansa akordlu birden fazla transformör kullanılıncsa, herbir transformör  $f_o$  'i Af frekanslarında 3/T db zayıflatır, burada :

T = Transformör sayısı,

Ai = Tüm yükseltecin band genişliğidir.

Akordlu devrelerin tasarlanmasında çok kullanılan  $A_o/A = \sqrt{1 + Q_y^2 (f/f_o - f_o/f)^2}$  formülünde :

$$A_o/A = \frac{f_o \text{ frekansındaki voltaj}}{f \text{ frekansındaki voltaj}}$$

dır Af = f -  $f_o$  olsun, terimleri tekrar düzenleyince :

$$\sqrt{(A_o/A)^2 - 1} = \left[ \frac{X \cdot f_o / f}{2 + f/\omega J} \right] \quad (2)$$

bulunur.

Şekil : 3'te, 1, 2, 3 ve 4 tane aynı özellikte transformöre sahip devrelere tekabül eden  $A_o/A$  değerleri için 2. denklemin grafiği görülmektedir. Genellikle, devre tasarılarında band genişliği 6 db kesim frekanslarına göre tarif edildiğinden, şekil : 3'te 3 db lik yerine 6 db ilk band genişliğinin yüklü Q ya karşı grafiği çizilmiştir.

Eğer transistorun empedansı, orta frekans, band genişliği ve bobinin yüksüz Q su biliniyorsa bobin reaktansı şekil : 2'den yahut 1. denklemden elde edilebilir. Genellikle primer orta uçsuz olacaktır. Eğer, şekil : 2'den bulunan  $X_L$  değeri istenen miktardan az olursa,  $X_L$  den büyük herhangi bir değer kullanılabilir yeter ki, primer sargısından aşağıdaki formüle göre orta uç alınarak reaktans, sürücü transistorun empedansına uygulanmış olsun,

$$n = R_k / R'_k$$

burada :

$R_k$  = Transistorun çıkış empedansı,

$R'_k$  = 1. denklemden yahut şekil: 2'den elde edilen değer,

orta uca kadar sarım sayısı

$$n = \frac{\text{orta uca kadar sarım sayısı}}{\text{primerin toplam sarım sayısı}} \text{ dir. (3)}$$

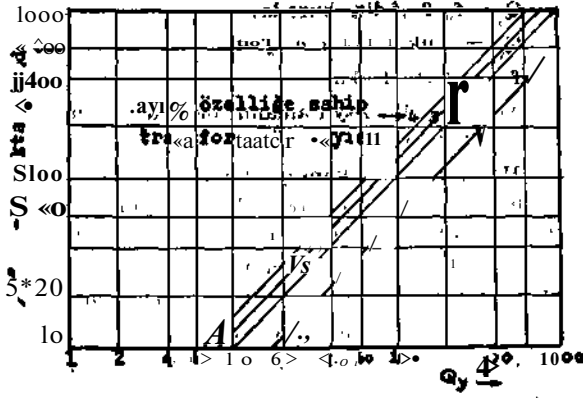
Sekonder sargının sarım sayısı da şu denklemden elde edilebilir :

$$n' = R / R'_k \quad (4)$$

burada :

• sekonderin sarım sayısı

$$n' = \frac{\text{sekonderin sarım sayısı}}{\text{primerin sarım sayısı}}$$



Şekil : 3 — Tek akörelü transformatorün yüklü Q'suna karşı 6-db bant genişliği yanının grafiği.

$R'_k$  = Kaynak empedansı,

$R'_v$  = Müteakip transistörün giriş empedansıdır.

Primer ile sekonder arasındaki kuplaj katsayısı bire eğit kabul edildiğinden bu hesaplar yaklaşık değerler verir. Bunun tarzdaki sıkı kuplajlı sargıların yaratacağı aykırılıklar, transistörün empedans değışmelerinin yaratacağı aykırılıklardan oldukça az olacaktır.

#### Çift-akordlu Transformatorün Tasarlanması

Sadece kritik kuplajlı bobinler [göz önüne alınacaktır, ilâve transformatorj kayıpları meydana geleceğı için kritik kuplajdan daha gevşek kuplaj tavsiye edilmez. Sıkı kuplajlı transformator için işe basit tasarlama prosedürü yetersizdir. Devre, bire eşit sarım oranına göre transfer edilmiş dirençleri ile şekil : 1Çde gösterilmiştir.

Bobinlerde, dış yükler aynıdır, böylece

$L_j = L_j$   $C_j = C_j$  rezonans dışı yüksüz kuplajsız bobin empedansı  $R_{b1} = R_{b2} = R_s = Q X_L$  ve  $R'_k = R'_v$  olur.

Kuplajlı devrenin şekil : 1D'deki eşdeğer modelinde, kuplajlı  $R'_v$  ve  $R'_k$  empedansları transformatorün primetine transfer edilmiş olarak gösterilmiştir.

Bobinler kritik kuplajlı olunca küple edilen empedans, yüklü prknçer empedansına eşittir. Primerin yahut sekonderin yüklü kuplajlı Q su, yüklü kuplajsız Q 'değeri'nin yarısına' eşittir. Kuplajlı  $R'_v$  ve kuplajlı  $R'_k$  nin paralel empedansı,  $R'_k$  ye,  $R_{b1}$  in paralel empedansına eşittir. . .

$R_{ij} = R_{b1}$  ve  $R'_v = R'_k$  olduğundan, kuplajlı  $R'_v = R'_k$  ve kuplajlı  $R_{b2} = R_{b1}$  olur. Bu, tek akordlu transformatorde olduğu gibi, devredeki kaybın asgari değerini temsil eder.

$$Q_{yda} = R_b/X_L = \dots \text{yüRsüzmkuplajsız bobinin}$$

$$Q_{ykt} = (R'_k/R'_v)/X_L = \dots \text{Yükli kuplajsız bobinin}$$

$$Q_{ykt} = \left[ \frac{1/R'_k + 1/R'_v}{1} \right] J I X_L J$$

olsun.  $X_L/R'_v = 1/Q_{ykt}$  değerini yerine koyup  $X_L/R'_k$  için çözersek:

$$X_L/R'_k = 1/Q_{ykt} + 1/Q_{ykt}$$

elde ederiz:

Bu değer, tek-akordlu transformatordeki  $X_L/R'_k$  değeri'nin iki katıdır ve şekil : 2de gösterilmiştir.

$Q_{ykt}$  'ı tayin etmek için kuplajlı devrelerin matematik formüllerinden bir tanesi tekrar düzenlenebilir :

$$A_0/A - t/d - \frac{Q_2 Y^2}{k^2 Q^2} + \left( \frac{2QY}{1 + k^2 Q^2} \right)^2 \quad (5)$$

burada :

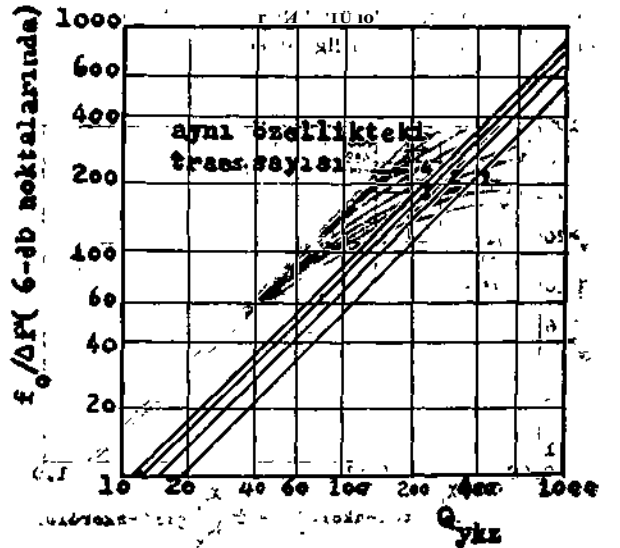
$$Y = (f/f_0 - t/i) V$$

Kritik kuplajda  $k^2 = 1/Q_{ykt}$  dir, ve  $Af = f - f_0$  yerine koyarak 5. denklem  $Q_{ykt}$  için çözülebilir :

$$Q_{ykt} = (1/\sqrt{2}) (f_0/\Delta f) \left[ \frac{(f_0/\Delta f) + 1}{(f_0/\Delta f) + 2} \right]$$

$$\left[ (A_0/A)^2 - 1 \right]^{1/4} \quad (6)$$

Şekil : 4'te, 1, 2, 3 ve- Aytane aynı özellikte transformatorde, sahip devrelere tekabül eden  $A_0/A$  değerleri için 6. denklemin grafiği görülmektedir.



Şekil : 4 — Çift-akordlu transformatorün yüklü Q'suna karşı 6 db bant genişliği orantının grafiği H.;

ister tek, ister çift - akordlu transformator tasarısı için olsun, aşğıdaki malûmata İhtiyac vardır:

- Tüm yükseltecin band genişliği,
- Orta frekans  $f_p$ ,
- Orta frekans transformator sayısı,
- $Q_{yz}$  yahut  $Q_{yzkz}$ ; yani yüksüz kuplajsız bobinin  $Q$  değeri (başlangıçtaki hesaplar için 100 civarında bir değeri kabul edilebilir ve  $Q$  yahut  $Q_{yja}$ 'nin kesin değeri tesbit edilince bobinin XL değeri değıştirilerek uygulanabilir).

- Transistorun giriş ve çıkış empedansları,
- $Q_y$  yahut  $Q_y^{\wedge}$  değeri (bunlar direkt olarak şekil : 3'ten yahut 4'ten elde edilebilir. Eğer orta frekans 455 kc/s ise  $Q_y$  yahut  $Q_{yzkz}$  değeri şekil : 6'dan bulunursa komşu kanalın zayıflatılması hesaplanabilir).
- $X_L/R'_k$  oranı, şekil : 2'den direkt elde edilebilir.

Orta uçsuz primer için  $R_k = R'_k = X_L$  dir, bunlar direkt elde edilir.  $X_L$  ve  $R'_k$  bilindiđine göre, n 3. denklemden hesaplanabilir

Primerin sarım sayısı, ve 4. denklem yardımı ile tek - akordlu transformatorün sekonderi, yahut çift - akordlu transformatorün üçüncü sargısı hesaplanabilir. Çift - akordlu transformatorlerde kritik kuplaj kolayca gerçekleştirilebilir, çürkü primerin yüklü kuplajlı  $Q$  değeri, yüklü kuplajsız  $Q$  değerinin 1/2'sidir. Bu durumu elde edince primer ile sekonder arasındaki mesafeyi ayarlamak gerekir.

#### Transformator Kayıpları :

Eğer transformatorün devredeki kaybının fazla olmaması İsteniyorsa, yüksüz bobin  $Q$  su mümkün olduğu kadar büyük olmalıdır. Transformator vasıtasıyla küple edilen gücün yüzdesi yerine verim ile ilgileneceğiz. Verim

Yüke beslenen güc

$$\eta = \frac{\text{Kaynaktan alınan azami güc}}{\text{P} / \text{P}_k \text{ olarak tarif edilir, burada :}}$$

$P_y = (e_c)^2 / R_y$ , ( $e_c = S^{nk19}$  voltajıdır).

$$P_k = (e_k)^{2/4} R_v \quad (e_k = \text{kaynak voltajıdır}).$$

Şekil : 1B'den şu elde edilir :

$$e = e_k \frac{R_b}{2R_b + R_k}$$

Bunu  $\wedge$  denkleminde yerine koyarak :

$$= \frac{f}{1 + (R_k/2R_b)} V$$

ve tekrar sadeleştirecek, tek - akordlu için :

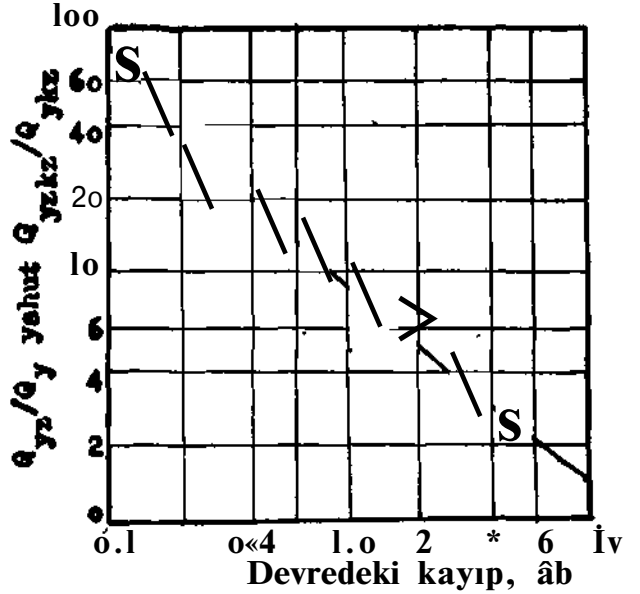
$$\eta = (1 - Q/V)^2$$

ve çift - akordlu için :

$$\eta = (1 - Q_{yzkz}/Q_{yzkz})^2$$

elde edilir.

Şekil : 5'te, tek ve çift - akordlu transformatorlerin devre kayıplarının grafiği görölmektedir. Eğer bobin kayıpları normal seviyede olcaksa yüksek değerde bir yüksüz bobin  $Q$  su, yani  $Q_{yz}$ , sağlamanın faydası bu şekilden anlaşılacaktır.



Şekil : S — Tek ve çift - akordlu transformatorlerin db cinsinden devredeki kaybının yüklü  $Q$ 'ya karşı grafiği.

Esas olarak, hem tek - akordlu hem de çift - akordlu transformatorler için verim ifadeleri aynı ise de gerçekleştirilebilecek verim  $O_y$  yahut  $O^{\wedge}$  değerlerine bağlıdır.

Bunlar ise band genişliğine bağlıdır, ve müteakip kısımda anlatılacak özel hal hariç, aynı band genişliği  $Q_y$  ve  $Q_{yzkz}$  değerleri eşit değildir. Bunun için,  $\wedge$  her iki durumda aynı olmayacaktır.

Tek ve Çift - Akordlu Transformatorlerin Mukayesesi :

Tek - akordlu transformatorler çift - akordlu transformatorlere nazaran daha az kayba sebep olmaktadır. Fakat, eğer seçicilik 3 db band genişliğinden daha ehemmiyetli ise çift - akordlu transformatorün kullanılması sonucunda kayıp, tek - akordlu transformatorünkine nazaran daha az olabilir.

Devredeki kayıp ifadeleri yüklü ve yüksüz bobin Qlerini İhtiva ettiğinden ve hem tek hem de çift-- akordlu transformatörler İçin aynı olduğundan, 2. denklem ile 4. denklem eşitlenebilir, böylece  $Q_y = Q_{yki}$  olur, ve

$$\tilde{y}_i = \tilde{y}_{ryk}$$

yazılabilir.

$f_0/Af > 1$  olduğunda:

$$\frac{1 + f_0/Af}{2 + 1Af/f_0} \text{ es } 1/2 (f_0/\Delta f)$$

dir ve

$$\frac{f_0/Af + 1}{t_0/At + 2}$$

olduğundan 1

$$A_0/A = \sqrt{5} \text{ yahut } 7 \text{ db} \quad (7)$$

olur.

7. denklemin manası şudur : Eğer, band genişliği 7db kesim frekanslarında tesbit edilirse, tek ve çift - akordlu transformatörlerin devredeki kayıpları eşittir (yüklü devrenin kuplajlı ve kuplajsız Q değerleri eşit olduğundan bobinlerin Q su eşit f arz edilmiştir).

Eğer band genişliği, 7 db den daha fazla kesim frekanslarında tesbit edilirse çift - akordlu transformatörün devredeki kaybı tek - akordlu transformatörünkünden daha az olacaktır (yahut da tersi).

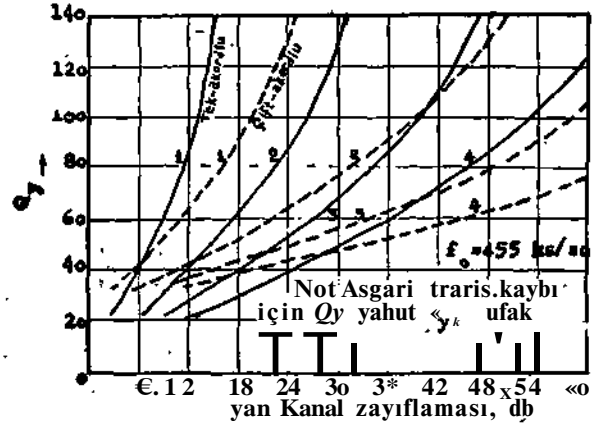
7. denklem, bir tek transformatör İçin doğrudur. Birden fazla transformatör kullanılınca, devredeki kaybın eşit olacağı db noktalan, transformatör ister tek ister çift-akordlu olsun Tx7 ifade edilir, burada T = transformatör sayısıdır. Şuhalde, meselâ iki transformatör kullanıldığında bank genişliği 7 db kesim frekanslarında tesbit edilirse tek ve çift - akordlu transformatörlerin devredeki kayıpları eşit olacaktır. Bunun gibi, üç transformatör İçin aynı durum 21 db kesim frekanslarında ortaya çıkacaktır.

Şekil: 6'daki grafik, 2. ve 6. denklemlerin yardımıyla çizilmiştir ve  $Q_y$  yahut  $Q_{yit}$ 'a karşı komşu kenarın zayıflatılmasını! (db cinsinden) göstermektedir. Bu grafik, orta frekans 455 kc/s yahut civarında olduğu takdirde kullanılabilir. Grafikten anlaşılacağı gibi, komşu kanalı çok fazla zayıflatmak gerekiyorsa çift-akordlu transformatör kullanmak daha faydalıdır, çünkü bu durumda devredeki kayıp tek - akordlu transformatörünkünden çok daha az olmaktadır.

Bir Misâl :

Aşağıdaki özelliklere sahip ortak-bazlı transistor o.f. yükseltici İçin çift - akordlu transformatör tasarlanmak isteniyor :

- Transformatör sayısı T = 4,
- 6 db band genişliği Af = 15 kc/s,
- Transformatörün devredeki azami kaybı 3 db,



Şekil . 6 — Tek ve çift - akordlu transformatörlerde yan kanal zayıflatılmasının vtklü ç'ya karşı grafiği.

- Orta frekans  $f_0 = 455 \text{ kc/s}$ ,
- Transistor empedansları : Giriş = 50 ohm, çıkış = 120 kohm'dur.

Çözüm :

$$f_0/Af \text{ hesaplayın} = 455/15 = 30,4,$$

$$Q_{y_k} \text{ 'i şekil : 4'den bulun} = 34,$$

$$Q_{y_k} / Q_{y_b} \text{ 'i şekil : 5'ten bulun} = 3,4,$$

$$Q_{y_k} \text{ 'nin asgari değeri} = 3,4 \times 34 = 115,$$

$$Q_{y_k} \text{ 'nin } Q_{y_k} \text{ değerlerinden istifade ederek } 1/2 (X_L/R_k) \text{ 'yi Şekil : 2'den bulun} = 0.001$$

Orta uç istenmediğinden  $R_k = R_k = 120 \text{ kohm}$  dur.-.

Böylece,  $X_L = 2 \times 0.01 \times 120,000 = 2400 \text{ ohm}$  (455 kc/s de), ve  $L = 0.85 \text{ mH}$  olarak bulunur.

tki üç denemeden sonra Q su 115 olan 0.85 mH'lik bir bobin No.' 5-44 Litz teli (ipek tel) ile ferit üzerine 170 sarım sararak elde edilmiş, bobin kalınlığının yaklaşık olarak 3/8 inç (48 mm) - olduğu görülmüştür. Aynı ölçülerde ikinci bir bobin hazırlanmış ve her iki bobin de 455 kc/s ye akord edilip 120 kohm ile yüklenmiştir. Qyu bir Q ölçü aletinde kontrol ederek, değeri kuplajsız değerinin yarısına düşünceye kadar iki bobin arasındaki mesafe azaltılmış ve böylece kritik kuplaj elde edilmiştir. Aradaki mesafenin yaklaşık olarak 7/32 inç (55 mm) kadar olduğu görülmüştür. 4. denklemleri kullanarak müteakip transistorun kuplaj sargısının, yani üçüncü sargının sarım sayısı hesaplanabilir;  $n' = R_y/R_k = 50/120,000 = 0.0205$  ve böylece üçüncü sargının  $0.0205 \times 170 = 3.5$  sarım olması gerektiği bulunur. Herbirinin  $Q_{y_k}$  değeri 34 olan dört transformatörlü yükselteçte komşu kanalın zayıflatılması şekil: 6'dan bulunursa yaklaşık olarak 14 db olduğu görülecektir.

Referans:

Radiotron Designer's Handbook.