

Televizyon Sistemlerinde Kullanılan Artıkyanband Modülasyonunun Matematiksel Etüdü

Dr. Nazif TEPEDELENLİOĞLU

ODTÜ

ÖZET

Bu yazıda televizyon sistemlerinde kullanılan artıkyanband modülasyonlu resim ve frekans modülasyonlu ses imlerinin, taşıyıcılararası türünden bir televizyon alıcısı tarafından nasıl çözüldüğü anlatılmaktadır.

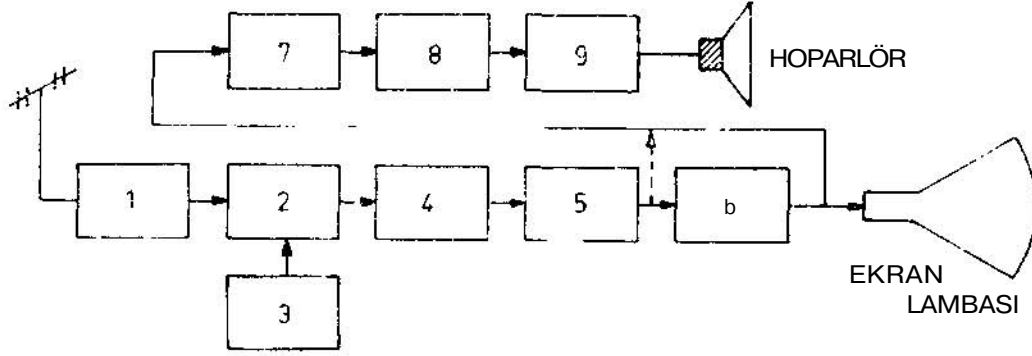
SUMMARY

Demodulation of video and audio signals by an intercarrier TV set is considered. The time domain representation of SSB signals is used as a mathematical tool in the analysis.

1. GİRİŞ

Televizyon sistemlerinde, resim bilgisinin normal genlik modülasyonu yerine «artıkyanband» adı verilen ve genlik modülasyonundan daha dar bir frekans bandı gerektiren bir yöntemle gönderildiği bilinen bir gerçektir. Ancak, artıkyanband modülasyonlu bir imin nasıl olup da basit bir zarf detektörü ile çözülebildiği, genellikle, bilerek ya da bilmiyerek geçiririverilen, üzerinde durulmayan bir sır olarak kalmaktadır. Bu,

özellikle Türkçe yazında üzerinde hiç durulmayan bir konudur [1], [2]. Buna ek olarak, üzerinde hemen hemen hiç durulmayan diğer bir konu da frekans modülasyonlu ses iminin, blok şeması Şekil 1 de gösterilen taşıyıcılararası alıcıda, resim ve ses arafrekans katından ve resim zarf detektöründen geçtikten sonra, nasıl olup da distorsiyona uğramadan ses arafrekans katına gönderilebildiğidir. Bu konu da, genellikle sezgiye dayanan nitel birkaç sözle geçirilmektedir.



Şekil 1. Taşıyıcılararası türünden televizyon alıcısı.

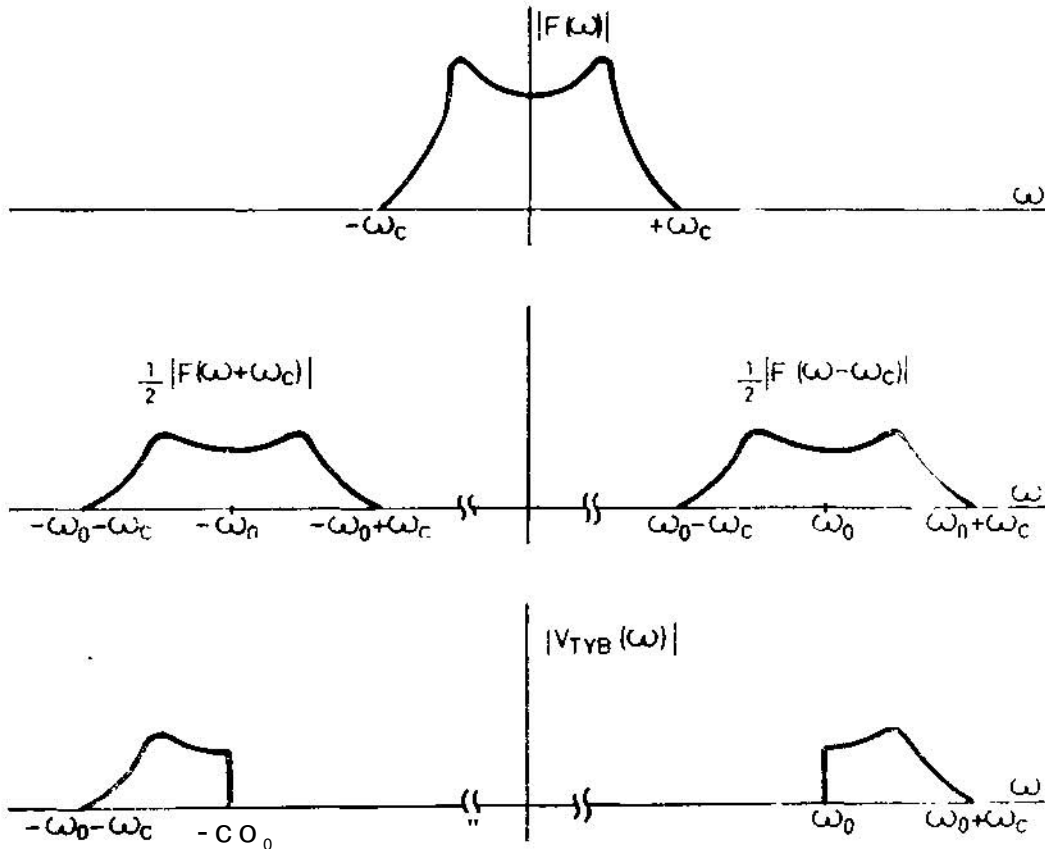
1 : RF yükseltici, 2 : Karıştırıcı, 3 : Osilatör, 4 : Resim ve ses arafrekans yükseltici, 5 : Resim detektörü, 6 : Resim yükseltici, 7 : Ses arafrekans yükseltici, 8 : FM detektörü, 9 : Ses yükseltici.

Bu yazının amacı yukarıda söz konusu edilen bu boşlukları doldurmaktır.

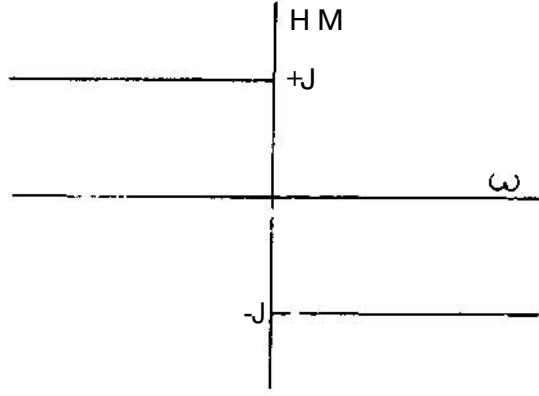
2. bölümde, tekyanband sistemleri ile ilgili, daha ilerde artıkyanband modülasyonunun çözümlenmesinde kullanacağımız, matematiksel ifadeler geliştirilmekte ve 3. bölümde de yukarıda değinilen iki soruna açık, nicel çözümler getirilmektedir.

2. TEKYANBAND İMLERİNİN ZAMANDA GÖSTERİLMESİ

$f(t)$, fourier dönüşümü $F(\omega)$ olan bir zaman imi olsun, $f(t)$ yi bir tekyanband (üst yanband) işleminden geçirelim. Bu işlem sonucu meydana gelen zaman işlevine $v_{TYB}(t)$ diyelim. $v_{TYB}(t)$ nin fourier dönüşümü Şekil 2 de gösterildiği gibi olacaktır.



Şekil 2. $f(t)$, $f(t) \cos \omega_0 t$ ve $v_{TYB}(t)$ nin fourier dönüşümleri.



Şekil 3. Hilbert dönüşümü süzgecinin frekans karakteristiği.

Amacımız $v_{TYB}(t)$ ye, $f(t)$ ve taşıyıcı frekansı ω_c cinsinden bir ifade bulmaktır. Bu amaçla Şekil 3 de frekans karakteristiği gösterilen süzgeci gözönüne alalım. Bu süzgecin girişine $f(t)$ yi uygularsak, süzgeç çıkışı $f(t)$ nin fourier dönüşümü aşağıdaki gibi yazılabilir:

$$F(u) = \begin{cases} jF(\omega) & \omega < 0 \\ -jF(\omega) & \omega > 0 \end{cases} \quad (1)$$

$\hat{f}(t)$ ye, $f(t)$ nin hilbert dönüşümü denir. Zamanında $f(t)$ ve $\hat{f}(t)$, (2) ve (3) eşitlikleri ile birbirlerine bağlıdır:

$$\hat{f}(t) = \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\tau)}{t-\tau} d\tau \quad (2)$$

$$i(O - \frac{1}{\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{f(\tau)}{t-\tau} d\tau) \quad (3)$$

(1) eşitliği kısa olarak (4) eşitliği ile de ifade edilebilir:

$$\hat{F}(\omega) = -jF(\omega) \operatorname{sgn} \omega \quad (4)$$

(4) eşitliğinde geçen signum işlevi (5) te tanımlanmıştır:

$$\operatorname{sgn} \omega = \begin{cases} 1 & \omega > 0 \\ -1 & \omega < 0 \end{cases} \quad (5)$$

Şimdi, $v_{TYB}(t)$ yi hesaplayacak durumdayız. Şekil 2 den görüldüğü üzere; $v_{TYB}(t)$, $V_{TYB}(\omega)$ nin ters fourier dönüşümü olarak (6) daki gibi yazılabilir.

$$\begin{aligned} v_{TYB}(t) &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2} F(\omega + \omega_0) \exp(j\omega t) d\omega \\ &= \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{1}{2} F(u) \exp(ju t) \exp(j\omega_0 t) du \\ &= \frac{1}{2} \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) \exp(ju t) du \right\} \exp(j\omega_0 t) \\ &+ i \left\{ \int_{-\infty}^{+\infty} F(u) (-j \operatorname{sgn} u) \exp(ju t) du \right\} \sin \omega_0 t \end{aligned} \quad (6)$$

(6) daki 1. ayracın $f(t)$, 2. ayracın ise $\hat{f}(t)$ olduğu kolayca tanınır. Şu halde $v_{TYB}(t)$,

$$v_{TYB}(t) = \{f(t) \cos \omega_0 t - \hat{f}(t) \sin \omega_0 t\} / 2 \quad (7)$$

şeklinde yazılabilir. (7) nin bulunmasına çok benzer bir yol izlenerek alt yanband imi için de,

$$v_{TYB}(t) = \{f(t) \cos \omega_0 t + \hat{f}(t) \sin \omega_0 t\} / 2 \quad (8)$$

bulunabilir.

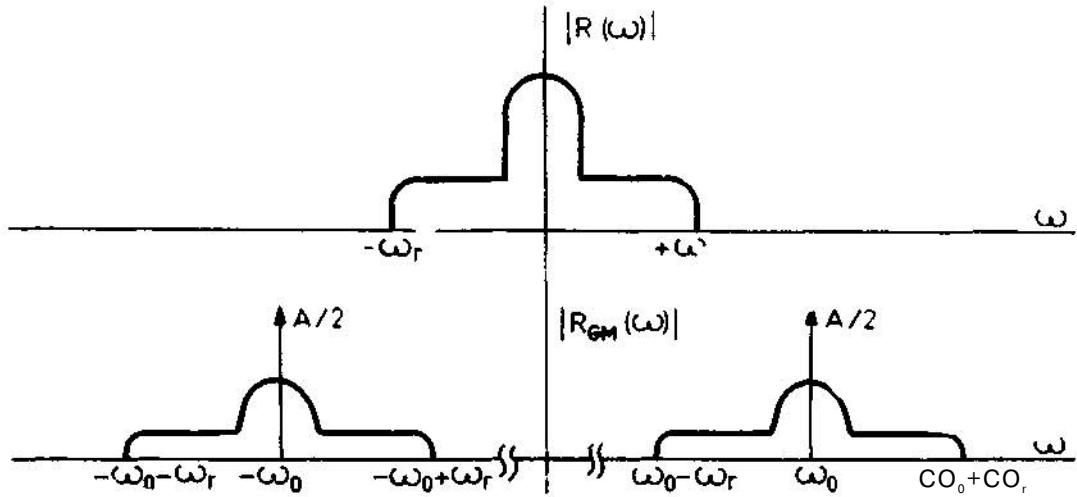
3. ARTIKYANBAND RESİM VE FM SES İMLERİNİN TAŞIYICILARARASI TÜRÜNDEN BİR ALICI İLE ÇÖZÜLMESİ

Şimdi giriş bölümünde sözünü ettiğimiz artıkyanband sorununu ele alalım. Şekil 4 bir resim imi $r(t)$ nin ve $r(t)$ nin bir genlik modülasyonu işleminden geçirilmesinden doğan imin fourier dönüşümlerini göstermektedir. Genlik modülasyonlu resim iminin (9) daki gibi yazılabileceği apaçıktır:

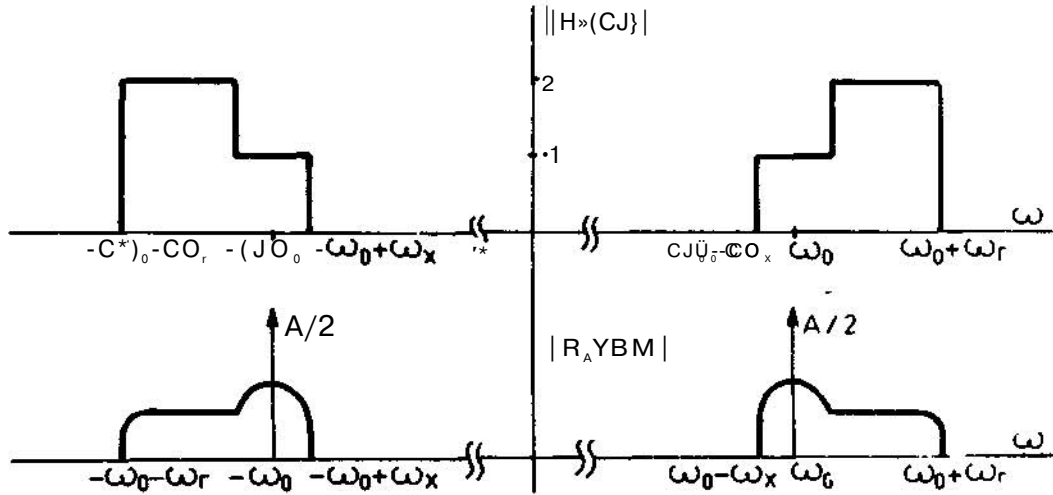
$$r_{GM}(t) = A[1 + m r(t)] \cos \omega_0 t \quad (9)$$

(9) da geçen m , modülasyon indisi ($|r(t)| < 1$); A ise taşıyıcı genliği olarak bilinmektedir. Buna ek olarak $r_{GM}(t)$ nin basit bir zarf detektörü ile çözülebilmesi için m nin 1 den küçük olması gerekmektedir.

Şimdi $r_{GM}(t)$ imini Şekil 5 de frekans karakteristiği gösterilen ideal bir süzgeçten geçirdiğimizi varsayalım. Bu süzgecin çıkışının fourier dönüşümü yine Şekil 5 de gösterilmiştir. Fourier dönüşümü $R_{AYB}(\omega)$ olan $r_{AYB}(t)$ ye artıkyanband imi diyeceğiz. Artıkyanband imi 2. bölümde geliştirdiğimiz tekyanband imleri ile ilgili ifadeler kullanılarak zamanda yazılabilir [3]. Bu amaçla, $r(t)$ nin Şekil 4 de verilen fourier dönüşümü $R(\omega)$ yi Şekil 6 da görüldüğü üzere iki frekans işlevine ayırştıralım:



Şekil 4. Resim imi $r(t)$ nin ve $r(t)$ nin bir genlik modülasyonu işleminden geçirilmesinden doğan imin fourier dönüşümleri.



Şekil 5. Artıkyanband imi $r_{AYB}(t)$ nin fourier dönüşümü.

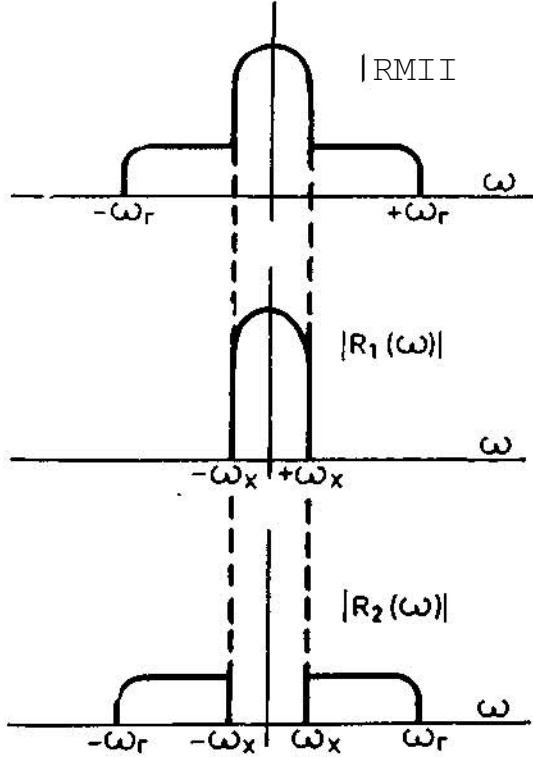
$$R(\omega) = R_j(\omega) + R_2(UJ) \quad (10)$$

$R_j(\omega)$ nin ters fourier dönüşümüne $r_1(t)$, $R_2(\omega)$ ninkine de $r_2(t)$ dersek, fourier dönüşümlerinin doğrusallık özelliği nedeniyle resim imi $r(t)$,

$$r(t) = r_1(t) \cdot r_2(t) \quad (11)$$

şeklinde yazılabilir.

Şekil 5 ve 6 ya dikkat edilirse artıkyanband imi $r_{AYB}(t)$ nin (9) da verilen $r_{GM}(t)$ iminden bir tekyanband (alt yanband) işleminden geçirilmiş $r_2(t)$ iminin çıkarılması; ve buna ek olarak, $r_{GM}(t)$ imine yine bir tekyanband (üst yanband) işleminden geçirilmiş $r_2(t)$ iminin eklenmesi ile elde edildiği ortaya çıkar. Demek ki $r_{AYB}(t)$,



Şekil 6. $R(\omega)$ ve ayrıştığı iki bileşen $R_1(\omega)$ ve $R_2(\omega)$

$$\begin{aligned} r_{AYB}(t) &= A\{1 + m(t)\cos\omega_0 t \\ &\quad - Am\{r_2(t)\cos\omega_0 t - \hat{r}_2(t)\sin\omega_0 t\}/2 \\ &\quad + Am\{r_2(t)\cos\omega_0 t - \hat{r}_2(t)\sin\omega_0 t\}/2 \\ &= A[1 + m(t)\cos\omega_0 t - Am\hat{r}_2(t)\sin\omega_0 t] \quad (12) \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir.

(12) de verilen $r_{AYB}(t)$, bir zarf detektöründen geçirilince detektör çıkışında,

$$f(t) \approx A/U + m(t)^2 + m^2 \hat{r}_2^2(t) \quad (13)$$

elde edilir. Genel halde $\hat{r}(t)$ nin $r(t)$ nin doğrusal bir işlevi olmadığı apaçıktır. Ancak $m^2 \hat{r}_2^2(t) \ll 1$ varsayımı yapılırsa,

$$f(t) \approx A/U + m(t)^2 \quad (14)$$

bulunur.

$v_2(t)$, frekans karakteristiği Şekil 3 de verilen Hilbert dönüşüm süzgecinin $r_2(t)$ ye tepkesidir. Hilbert dönüşüm süzgeci için,

$$|H(\omega)| = 1$$

yazılabileceği için, $r(t)$ ve $\hat{r}(t)$ nin güçleri eşittir. Dolayısıyla,

$$m^2 \hat{r}_2^2(t) \ll 1$$

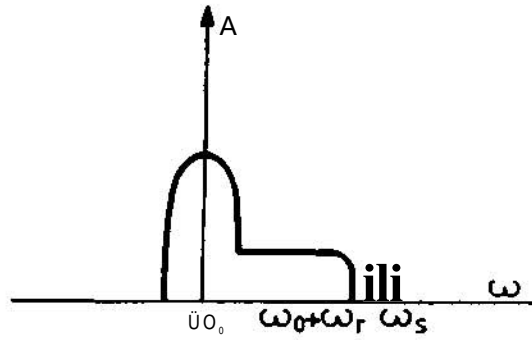
koşulu,

$$m^2 r_2^2(t) \ll 1$$

olması için gerek ve yeter koşuldur. Demek ki artıyanband resim iminin bir zarf detektörü ile çözülebilmesi için modülasyon indisinin 1 e oranla küçük olması gerekir.

Gerçek uygulamada, Şekil 5 deki süzgece benzer bir süzgecin vericide gerçekleştirilmesi çok güç olduğundan, vericide yalnızca $r_{GM}(t)$ nin alt yanbandının bir kısmı bir bandgeçiren süzgeç aracılığı ile söndürülür. Bu süzgece artıyanband süzgeci diyeceğiz. Üst yanband aynen yollar. Üst yanbandın bir kısmının 2 ile çarpılması işlemi ise alıcının resim ve ses arafrekans katının frekans karakteristiğinin özel bir şekilde biçimlendirilmesi yoluyla yapılır.

Bu olguyu daha iyi açıklayabilmek için, Şekil 1 de blok şeması verilen taşıyıcılararası türünde bir televizyon alıcısını ele alalım.



Şekil 7. RF katında resim ve ses imleri

RF yükselteciye gelen ses ve resim imlerinin Fourier dönüşümü Şekil 7 de gösterildiği gibidir. Şekil 7 de resim tayfının Şekil 5 de gösterilen $R_{AYB}(\omega)$ dan tek farkı, birinde üst yanbandın yüksek frekans bileşenleri 2 ile çarpılmış olduğu halde, diğerinde bu işlemin yapılmamış olmasıdır. Bu işlem, yukarıda belirtildiği üzere, resim ve ses arafrekans yükseltecinde (RSAY) yapılacaktır.

Şekil 7 de tayfı verilen RF imi üç bileşene ayrıştırılabilir: genlik modülasyonu işleminden geçirilmiş $r(t)$, tekyanband işleminden geçirilmiş $r_2(t)$ ve frekans modülasyonu işleminden geçirilmiş ses imi $s(t)$. Şu halde RF imi,

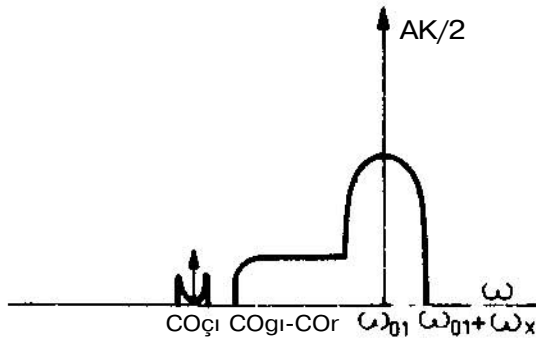
$$\begin{aligned} v_{RF}(t) &= A[1 + m(t)\cos\omega_0 t \\ &\quad + Am\{r_2(t)\cos\omega_0 t - \hat{r}_2(t)\sin\omega_0 t\}/2 \\ &\quad + B\cos\omega_s t + \Delta^* J_s(t)dc] \quad (15) \end{aligned}$$

şeklinde yazılabilir. Burada ω_0 resim taşıyıcı frekansını, ω_{ses} taşıyıcı frekansını, A maksimum frekans sapmasını ($|s(t)| < 1$), B ise ses taşıyıcısının genliğini göstermektedir.

Karıştırma işleminin yukardan yapıldığını (yani alıcı osilatör frekansı (ω_{y_0} nun, ω_0 ve CJ_s ten büyük olduğunu) varsayarsak, karıştırıcı çıkışındaki imin RSAY nin geçirme bandı içine düşen bileşeni,

$$v_k(t) = AK/2[1 + m r_1(t)] \cos \omega_{01} t + AK/2[m r_2(t) \cos \omega_{01} t + m f_2(t) \sin \omega_{01} t]/2 + BK/2 \cos\{\omega_{01} t - A u/s(t) \sin t\} \quad (16)$$

olarak bulunur. (16) da K karıştırıcı kazancını, $\omega_{01} = \omega_0 + \omega_x$ ($\omega_{01} = \omega_0 + \omega_x$ ise sırasıyla resim ve ses arafrekanslarını göstermektedir. $v_k(t)$ nin fourier dönüşümü, Şekil 8 de gösterilmiştir.



Şekil 8. Karıştırıcı çıkışındaki resim ve ses imleri.

$$\lambda B_1 \cos(\omega_{s1} t + \Delta \omega \{s(t) dt\}) = \lambda B_1 \cos\{(\omega_{01} - \omega_{s1}) t + \int u_j s(c) dt \cos \omega_{01} t\} + XB, \sin\{(\omega_{01} - \omega_{s1}) t + \int u_j s(c) dt \sin \omega_{01} t\} \quad (18)$$

(18), (17) de yerine konur ve $v_{RSAY}(t)$ nin zarfı hesaplanırsa resim detektörü çıkışı bulunur:

$$V_{yjd} = A_j/2 \sqrt{(1 + m r(t) + p(t))^2 + (m r_2(t) + q(t))^2} \quad (19)$$

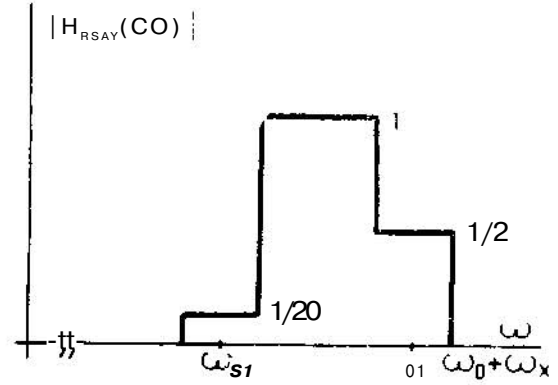
(19) da geçen $p(t)$ ve $q(t)$, (20) ve (21) eşitlikleri ile verilmektedir:

$$p(t) = 2AB_1/A_1 \cos\{(\omega_{01} - \omega_{s1}) t + \int u_j s(t) dt\} \quad (20)$$

$$q(t) = 2XB_1/A_1 \sin\{(\omega_{01} - \omega_{s1}) t + \int u_j s(t) dt\} \quad (21)$$

Görüldüğü gibi $v_{RD}(t)$ nin, ses ve resim imlerinin toplamı olarak yazılabilmesi için,

$$\{m^2_2(t) + q(t)\}^2 \ll 1 \quad (22)$$



Şekil 9. Resim ve ses arafrekans yüksel t eci nin frekans karakteristiği (ideal).

RSAY nin frekans karakteristiği Şekil 9 da gösterildiği gibi olsun. Bu takdirde yukarıda sözünü ettiğimiz 2 ile çarpma işlemi gerçekleşecek (*) ve RSAY çıkışı (17) ile verilecektir.

$$v_{RSA} Y(t) = A_j/2[1 + m r^2(t)] \cos \omega_{01} t + A_1 m(r_2(t) \cos \omega_{01} t + \hat{f}_2(t) \sin \omega_{01} t)/2 + XB, \cos\{(\omega_{01} - \omega_{s1}) t - A u/s(t) \sin t\} \quad (17)$$

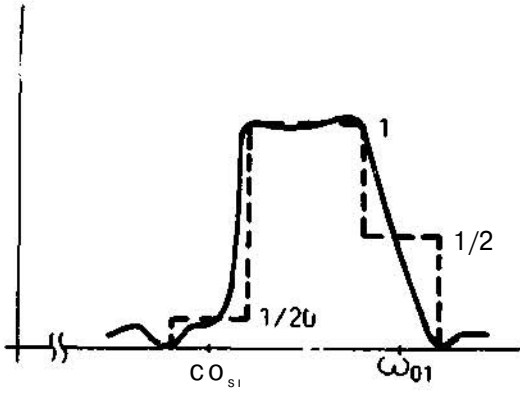
(17) de $A_1 = \frac{AK}{2} \cdot E$, $\frac{BK}{2}$ dir. X ise RSAY nin ses imine gösterdiği kazançtır. (17) deki ses imi (18) deki biçimde yazılabilir:

koşulunun sağlanması gerekmektedir. (22), (19) a uygulandığında, $v_{RD}(t)$ yaklaşık olarak (23) e indirgenebilir:

$$v_{RD}(t) \approx A_1/2[1 + m r(t) + p(t)] \quad (23)$$

Gerçek uygulamada kullanılan RSAY nin frekans karakteristiği Şekil 9 daki karakteristikle karşılaştırmalı olarak Şekil 10 da verilmiştir, Şekil 10 da görüldüğü üzere X mn değeri 0,05

(*) Daha doğrusu (17) den de görüldüğü gibi, 1. terim 1/2 ile ve 2 ve 3. terimler 1 ile çarpılmaktadır.



Şekil 10. Gerçek uygulamada kullanılan resim ve ses arafrekans yükseltecinin frekans karakteristiği.

dolayındadır. Dolayısıyla; $p(t)$, $m_r(t)$ ye oranla küçüktür. Bu nedenle $V_y(t)$, resim yükseltecinden geçtikten sonra ekran lambasına aynen verilir. Ancak ses imini iyice söndürmek amacıyla ekran lambası girişine $(\hat{=} = \mathcal{S}_{ol} - C_{S1})$ frekansına ayarlanmış bir kapan koymakta yarar vardır. $V_y(t)$ aynı zamanda, Şekil 6 da görüldüğü gibi resim yükseltecinden önce ya da sonra ses arafrekans yükseltecinin girişine yollarır. Bu yükselteç ω_{SA} frekansına ayarlanmış dar bantlı bir kattır; dolayısıyla yalnızca $p(t)$ yi geçirir. Böylece resim ve ses imleri birbirinden ayrılmış olur.

4. YAZININ DİLİYLE İLGİLİ BİRKAÇ SÖZ

Teknik bir yazıda her ne kadar böyle bir soruna değinmek alışlagelmiş bir uygulama değilse de, Türkçenin teknik dil bakımından içinde bulunduğu durum beni buna zorladı.

Her geri bırakılmış ülke gibi Türkiye de bilim ve teknoloji üretmeyen, bunları ithal eden bir ülke. Bunun doğal bir sonucu olarak bilim ve teknoloji terimlerini de ithal ediyor. En ayından şimdiye değin böyle olageldi. Bu olguya karşı, Türk Dil Kurumunun, batı kaynaklı sözcüklere Türkçe karşılıklar bulmak gibi bazı olumlu çabaları var. Ancak bu çabalar, Türk Dil Kurumunun işlevi gereği, genel alanda kalıyor, örneğin, Türk Dil Kurumu «intercarrier receiver» teriminin Türkçe karşılığını bulmaya uğraşmıyor. Böyle bir uğraşı şu anda bu kurumdan beklenmemeli de belki. O zaman bu türden özel terimlerin Türkçe karşılıklarını bulmak ya da türetmek konuyu kendilerine uğraşı dalı seçmiş kişilere düşüyor. O zaman da dilci olmayan bir kişinin sözcük türetmesi gibi çapraşık bir sorun ortaya çıkıyor. Bu nedenle türetilen sözcüklerin bir kısmı tutarlı olmayabiliyor.

Bu yazıda kullanılan terimlerin bazıları da tutarlı ya da yerinde olmayabilir. Böyle bir olasılığı azaltabilmek amacıyla teknik terimlerin bir çoğunu Ortadoğu Teknik Üniversitesi Elektrik Bölümünde bazı öğretim üyelerinin yaptığı teknik terimlerle ilgili bir ön çalışmanın ürünlerinden seçtim. Bir kısmını Dr. Tütüncüoğlu'nun kitabından [1] bazı ufak tefek değişikliklerle aldım. Bazılarını ise kendim türetmek zorunda kaldım. Yeni terimleri olanak buldukça metin içinde tanımlamaya çalıştım; ama yine de aşağıdaki Türkçe-İngilizce terim dizinini okurların yararına sunuyorum.

Arafrekans	: Intermediate frequency
Artıkyanband	: Vestigal side band
Bileşen	: Component
Çözmek	: To demodulate
Çözümlemek	: To analyze
Doğrusallık	: Linearity
Frekans sapması	: Frequency deviation
Frekansta	: in frequency domain
im	: Signal
işlev	: Function
Karıştırıcı	: Mixer
Süzgeç	: Filter
Taşıyıcılararası	: intercarrier
Tekyanband	: Single side band
Tepke	: Response
Yanband	: Side band
Yükselteç	: Amplifier
Zamanda	: in time domain

KAYNAKLAR

1. *E. Tütüncüoğlu: Televizyon Tekniği, İstanbul 1973.*
2. *E. Tütüncüoğlu: Televizyon Alıcılarının Ayar ve Tamiri, İstanbul, 1973.*
3. *K.K. Clarke, D. T. Hess: Communication Circuits, Analysis and Design, Addison Wesley, 1971.*