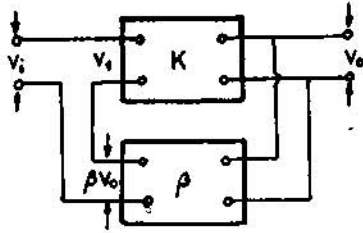


Geri Beslemeli Amplifikatörler⁴ⁱ

Yazan :
James J. BROPHY
IIT Research Institute

Çeviren
V. Müh.
Gülseren TEKİN
PTT Araştırma
J^aboratuvan

Tranzistorlu amplifikatörlerin faydalarını artırmak gayesiyle çıkış işaretinin bir bölümü giriş uçlarına tatbik edilir. Buna geri besleme denir. Geri besleme işareti giriş işaretini arttırabilir veya azaltabilir. Burada azaltıcı yönde çalışan geri besleme, yani negatif geri besleme bahsedilecektir. Negatif geri besleme frekans karakteristiğini düzeltir, distorsiyonu azaltır. Ayrıca amplifikatörün çalışması, sıcaklık ve yaşlanma ile tranzistor karakteristiklerinin değişmesinden bağımsız olur.



Şekil 1 — Geri beslemeli amplifikatörün blok şeması

Negatif geri besleme :

Standart amplifikatörün kazancı K , geri besleme devresinin f olsun. Bu devreye göre $f\beta v_o$ gerilimi v_i gerilimine eklenir. Toplam giriş gerilimi;

$$V_i = V_i + \beta v_o \quad (D)$$

$$v_o = K v_i \quad (2)$$

$$v_o = K v_i + K \beta v_o \quad (2)$$

$$v_o = \frac{K}{1 - \beta K} v_i \quad (3)$$

(3) ifadesinden geri beslemeli **kazanç**;

$$K' = \frac{K}{1 - \beta K} \quad (4) \text{ bulunur.}$$

K , βK 'nın cebrik işaretine göre amplifikatörün esas kazancı K' 'dan büyük veya küçük olabilir.

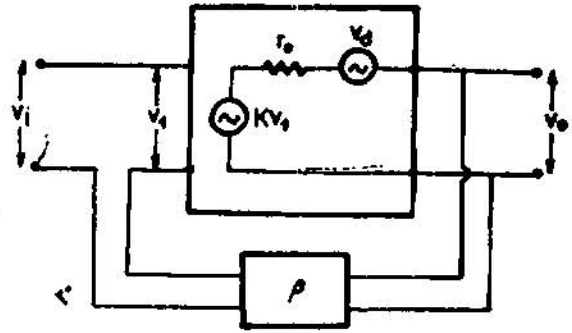
Negatif geri beslemede f K 'nın işareti eksidir. Bu durumda (4) ifadesinden görülür ki geri beslemeli devrenin kazancı düşer. $K \gg 1$ alınabilirse,

$$K' = \frac{1}{\beta} \quad (5) \text{ olur.}$$

Buna göre kazanç tamamen geri besleme devresinin özelliklerine bağlıdır. Ekseriya geri besleme devresi basit bir direnç ve kapasite tertibidir. Bundan dolayı kazanç, amplifikatörün parametrelerinin değişmelerinden bağımsızdır.

Stabilite düzelmesine ilâve olarak kazanç sadece geri besleme devresinin eleman değerlerinden hesaplanabilir. Meselâ, devredeki bütün tranzistörlerin parametrelerini bilmek lüzumlu değildir.

Negatif geri besleme, amplifikatörlerde distorsiyonu düşürmede de tesirlidir. Dalga şekli distorsiyonu lineer olmayan transfer karakteristiklerinden doğar. Bu, transfer karakteristiği eğiminin daha küçük olduğu yerlerde küçük kazanç, daha büyük olduğu yerlerde büyük kazanç olması şeklinde izah edilebilir. Geri besleme ile distorsiyonun azaldığını göstermek için distorsiyon İşareti amplifikatör devresinde; seri bir gerilim kaynağı şeklinde temsil edilir.



Şekül : 2

Bu yaklaşıklıkla kuvvetlendirilmiş işaret Kv_i distorsiyonsuzdur. Amplifikatörün çıkış uçlarından görülen devrenin iç empedansı r_o dir. Bu şart altında çıkış gerilimi ;

$$v_o = K v_i + v_d \quad (6) \text{ olur.}$$

Kuvvetlendirilmiş işaret ve distorsiyon gerilimi geri besleme gerilimi olarak girişe tatbik edilir. Böylece amplifikatöre giriş ;

$$v_i = v_i + \beta(v_o + v_d) \quad (7) \text{ dir.}$$

(6) ve (7) ifadelerinden çıkış işareti çözümlerse;

$$v_o = \frac{K}{1 - \beta K} \cdot v_i + \frac{1 + \beta K}{1 - \beta K} \cdot v_d \quad (8) \text{ bulunur.}$$

Geri beslemesiz durumda ($v_i = v^{\wedge}$) distorsiyonsuz çıkış işaretinin distorsiyon gerilimine oranı (6) İfadesinden

$$(S/D)_{v^{\wedge}} = -\frac{K v_i}{v_d} \quad (9) \text{ dir.}$$

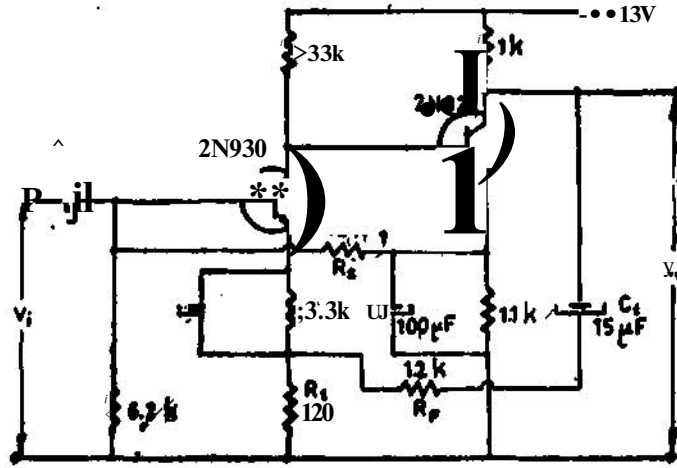
Geri besleme yapılnca oran;

$$(S/D)_f = \frac{K}{1 + \beta K} \cdot \frac{v_i}{v_d} \quad (10) \text{ dir.}$$

geri besleme için lüzumlu 180° lik faz farkından ayrılmaya sebep olur. Toplam faz kayması 0° olabilir. (360°) $p K$ pozitif olur. Buna pozitif geri besleme denir, $p K = 1$ olursa amplifikatör osilasyon yapar.

Gerilim Geri Beslemesi

Çıkış geriliminin belli bir kısmı girişe tatbik edilirse buna gerilim geri beslemesi denir. Şekil 3 deki gibi iki katlı tranzistorlu bir amplifikatörde R_F direnci ile, çıkış uçları birinci katın emetör tatbik edilir. Çünkü iki katlı amplifikatörün çıkış gerilimi giriş işerti ile aynı fazdadır. R_F ve R_s dirençlerinin meydana getirdiği bölücüyle tayin edilir.



Şekil: 3 — iki katlı gen beslemeli amplifikatör
geri besleme oranı $-\beta/\%$

(9) ve (10) ifadeleri karşılaştırılarak;

$$(S/D)_f = \frac{1}{1 + \beta K} \cdot (S/D)_k \quad (11) \text{ elde edilir.}$$

(11) ifadesine göre distorsiyon $(1 + \beta K)$ faktörle azalır. βK büyük ise bu düzelme önemlidir. Bu netice bilhassa tranzistor karakteristik eğrisinin tamamının kullanıldığı güç amplifikatörlerinde faydalıdır.

Negatif geri beslemenin faydaları kazancın düşmesi bahasına elde edilir. Bu ciddi bir kayıp değildir. Çünkü tranzistorlu devrelerle büyük kazanç temini mümkündür. Pratikte elde edilebilecek maksimum, kazanç rastgele gürültü ile sınırlanır.

K kazanç ve R geri besleme faktörü tabiatıyla kompleks sayılardır. Faz kaymaları, kuplaj kapasiteleri ve kaçak kapasite tesirlerinden meydana gelir. (Bilhassa amplifikatörlerin geçen bandının dışındaki frekanslarda) Bu faz kaymaları

Bu;

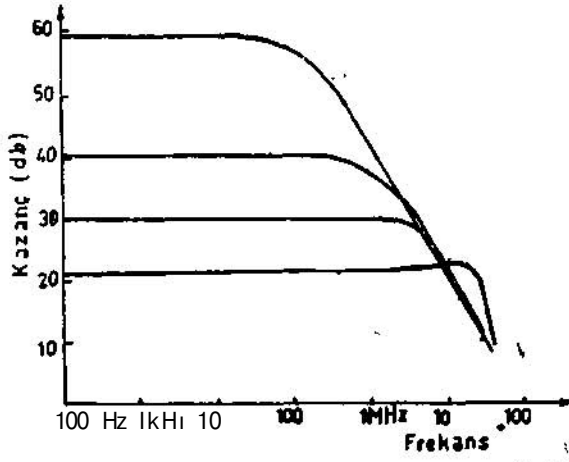
$$\beta = \frac{R_1}{R_1 + 4 R_F} \approx \frac{R_1}{R_F} \quad (12) \text{ dir.}$$

C_1 kondansatörü iki katın de bileşenlerini ayırır. Bu amplifikatörde katlar arası kuplaj de dir. R_1 direnci birinci katın polarizasyon gerilimini temin eder ve de kuplajlı amplifikatörlerde stabilizasyona yardım eden de geri besleme temin eder,

Geri besleme oranının frekans karakteristiğine tesiri şekil 4 de görülmektedir.

Geri beslemesiz amplifikatörün orta frekans kazancı 1000 ve üst kesim frekansı 100 kHz dir. R_F geri besleme direncinin küçük değerlerinde geri besleme fazladır, ve orta frekans kazancı düşer. Frekans karakteristiği genişler 1200 Q geri besleme direnci ile kazanç 10 dur. ve üst kesim frekansı 15 M Hz'e çıkar. Bu şartlar altında;

$$p = \frac{120}{1200} = 0,1 \quad /3K = 100 \quad \text{dür.}$$



Şekil . 4 — Amplifikatör karakteristikleri
Üzerine gen beslemenin tesiri

(5) ifadesine göre orta frekans kazancı $1/p$ dır. (Şekil 4 deki pratik eğriye uyararak). Çok kararlı geniş bantlı amplifikatör, geri besleme kullanmakla mümkün olur. Şekil 4 de eğrinin uç noktasında büyük geri besleme oranı kullanılırken kazancın yükseldiği görülmektedir. Kazancın yükselmesi bu frekanslarda amplifikatördeki faz kaymalarının neticesidir. Geri besleme gerilimi artık giriş sinyali ile tam olarak 180° faz farkı yapmamaktadır.

Geçen bandın dışındaki frekanslarda geri beslemeli amplifikatörün faz karakteristiği çok önemlidir. Eğrideki böyle intizamsızlıklar bilhassa büyük geri besleme oranı tatbik edildiği zaman küçük olmalıdır. Frekans bandının alt ve üst sınırlarında pozitif geri beslemeye sebep olacak kadar büyük faz kayması mümkündür. Amplifikatörün kararlı kalması için bu şarttan sakınmalıdır.

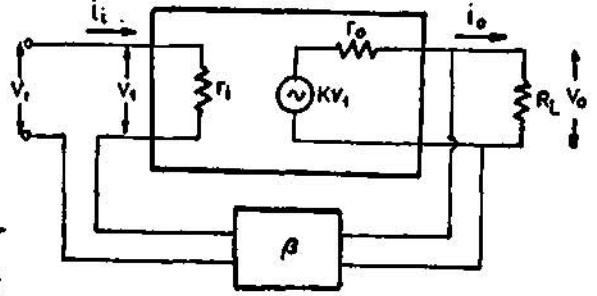
Eğer geri besleme devresi frekans seçici ise amplifikatör için özel frekans karakteristiği geliştirmek mümkündür.

Negatif geri besleme bir amplifikatörün giriş ve çıkış empedanslarını da değiştirir. Bunu incelemek için, geri beslemeli devrenin şekil 5 de görülen Thevenin eşdeğerini çizmek lâzımdır. Çıkış empedansı, açık devre çıkış geriliminin açık devre çıkış akımına oranından bulunur. Açık devre çıkış gerilimi (3) ifadesinden;

$$V_o = \frac{Kv_i}{1 + \beta K} \quad (13) \text{ bulunur.}$$

Kısa devre çıkış akımı $R_L = 0$ yapılarak elde edilir (7) ifadesinden; $V_o = 0$ olduğu da göz önüne alınarak

$$(I_o)_{kd} = \frac{Kv_i}{r_o} = \frac{K(v_i + \beta v_o)}{r_o} = \frac{Kv_i}{r_o} \quad (14) \text{ bulunur.}$$



Şekil 5

(13) ve (14) ifadelerinden;

$$j\omega r_o \frac{V_o}{(I_o)_{kd}} = \frac{r}{1 - \beta K} \quad (15) \text{ elde edilir.}$$

Bu neticeye göre efektif çıkış empedansı geri besleme ile kazancın değişmesi ile aynı oranda düşer

Efektif giriş empedansı giriş geriliminin giriş akımına oranından bulunur. Şekil 5 deki giriş devresine Kirchhoff'un gerilim, kanunu tatbik edilerek;

$$V_i + \beta v_o - I_i r_i = 0 \quad (16) \text{ bulunur.}$$

Yük yokken çıkış gerilimi şöyle yazılabilir.

$$V_o = Kv_i = K r_i I_i \quad (17)$$

(16) ve (17) ifadelerinden $\frac{V_i}{I_i}$ oranını çözerek;

$$R_i = \frac{V_i}{I_i} = (1 - j\beta K) r_i \quad (18) \text{ bulunur.}$$

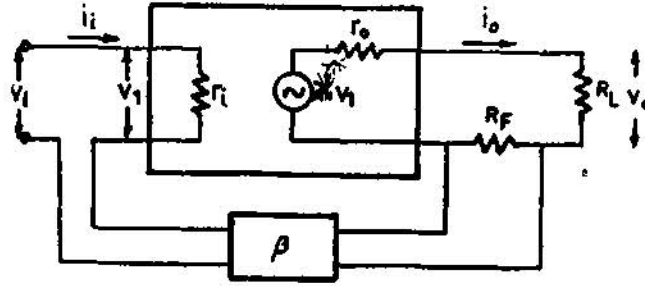
Bu da gösterir ki efektif giriş empedansı çıkış empedansının düşmesi ile aynı oranda yükselir.

Her iki değişme de amplifikatörün düzelmesi yolundadır. Geri besleme ekresiya bu faydaları için kullanılır.

Emetör çıkışlı bir devrenin giriş empedansı büyük, çıkış empedansı küçüktür. Bu da, geri besleme amplifikatörü olarak düşünülür. Burada emetör direncinin uçlarındaki gerilimin tamamı girişe tatbik edilir. Geri besleme oranı (-1) dir.

Akım Geri Beslemesi

Çıkış akımı ile orantılı bir geri besleme işareti girişe tatbik edilirse founa akım geri beslemesi denir.



Şekil : 6

Kirchhoff'un gerilim kanunu çıkış devresi için yazılırsa;

$$-Kv_1 + i_o (r_o + R_F) + v_o = 0 \quad (19) \text{ bulunur.}$$

Giriş devresi için;

$$-v_i + v_1 + \beta i_o R_F = 0 \quad (20) \text{ dır.}$$

v_1 için (20) ifadesi çözülür ve (18) ifadesinde yerine konursa;

$$v_o' = Kv_1 - i_o [r_o + (1 - \beta K) R_F] \quad (21) \text{ bulunur.}$$

(21) ifadeindeki Kv_1 , açık devre gerilimidir. Esasen amplifikatörün gerilim kazancı akım geri beslemesi ile değişmez. Diğer taraftan çıkış empedansı yükselir (21) ifadesinden;

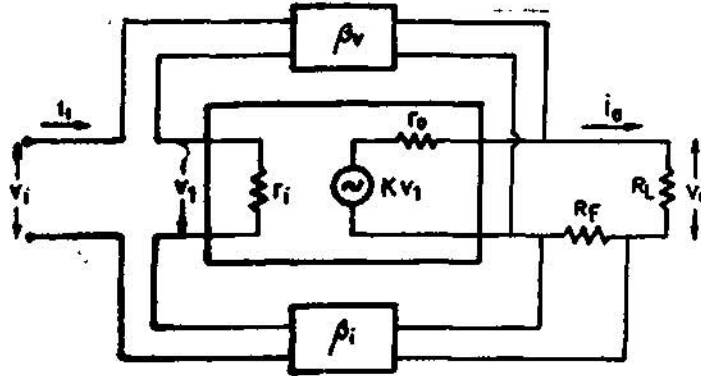
$$R_o = r_o + (1 - \beta K) R_F \quad (22) \text{ elde edilir.}$$

ve transistör parametrelerinden bağımsızdır. Bu ifade (5) ifadesindeki gerilim geri beslemesi durumuna benzer. Akım geri beslemesi çıkış akımındaki distorsiyonu küçültür. Güç amplifikatörlerinde genellikle emetör dekuplaj kapasitesi ihmal edilerek akım geri beslemesi kullanılır. Emetördeki dirençteki yük akımı giriş devresinde akım geri beslemesi meydana getirir. Neticede distorsiyon düşer. Bu durumda dekuplaj kapasiteleri B sınıfı «push-pull» amplifikatörlerde de kullanılabilir.

A kım - ger ilim ger i bes le - me si

Gerilim ve akım geri beslemelerinin ikil de aynı amplifikatörde kullanılabilir.

Şekil 7 deki çıkış devresinin gerilim, bağıntıları (19) ifadesine eşdeğerdir.



Şekil : 7 — gerilim - Akım geri beslenmesi.

Ayrıca giriş empedansı da yükselir. (21) ifadesinde $v_o = i_o R_L$ yazılıp i_o çözülürse;

$$i_o = \frac{Kv_1}{R_L + r_o + (1 - \beta K) R_F} \quad (23) \text{ olur.}$$

Kazanç büyükse yaklaşık olarak yapılarak bu eşitlik elde edilir. Çıkış akımı amplifikatör kazancından

$$v_o = Kv_1 - i_o (r_o + R_F) \quad (24)$$

Benzer olarak giriş devresi için Kirchhoff'un gerilim kanunu yazılırsa;

$$v_i = v_1 + \beta_v v_o + \beta_i i_o R_F \quad (25) \text{ olur.}$$

(25) ifadesini 24 ifadesinde yerine konarak çıkış gerilimi çözülürse;

$$v_o = \frac{K_o}{1 - K\beta_v} v_i - \frac{r + (1 - K\beta_i) R_F}{1 - K\beta_v} i_o$$

(26) bulunur.

Bu ifadesadece gerilim geri beslemesi için (3) ifadesi ile ($i_o = 0$) sadece akım geri beslemesi için (21) ifadesi ($\beta_v = 0$) birleştirir. Akım-gerilim geri beslemeli amplifikatör, çıkış empedansının ayarını mümkün kılar. Çıkış empedansı (26) ifadesinde i_o 'ün katsayısı ile verilir. Eğer,

$$r_o + (1 - \beta_i K) R_F = 0 \text{ veya } K \beta_i = 1 + \frac{r_o}{R_F}$$

(27)

olursa bu terim ortadan kalkar. Eğer (27) ifadesi sağlanırsa amplifikatörün iç empedansı sıfır olur ve bundan dolayı herhangi bir yük empedansına maksimum güç getirebilir.

Not edelim ki bu, (27) ifadesine göre pozitif akım geri beslemesi ister. Pozitif akım geri beslemesine bu durumda müsaade edilebilir. Çünkü verilen negatif gerilim geri beslemesi kararlılığa tesir eder.

Geri beslemeli amplifikatörlerde kararlılık.

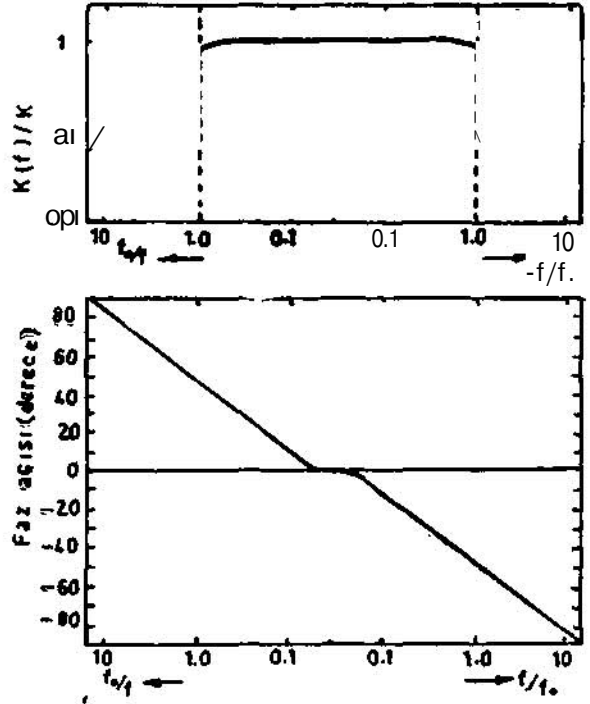
Geri besleme amplifikatörlerinde en mühim husus amplifikatörün geçen bantındaki uç frekanslarda pozitif geri beslemeye sebep olan faz kaymalarına dikkat ederek kararlılığı sağlamaktır. Neyse ki geri beslemeli amplifikatörlerde kararlılığı temin etmek için oldukça doğru kriterler mevcuttur. (4) ifadesine göre eğer K pozitifse ve bire eşitse kararlı olmayan bir durum meydana gelir. Eğer $|K| < 1$, faz kayması -360° den evvel birin altına düşerse amplifikatör kararlı olur. K 'nın fazını ve modülünü frekansa göre çizmek uygundur. Şekil 8 de kararlı bir amplifikatörün geri besleme faz ve modül eğrileri görülmektedir.

Kararlılık kriterini uygulayabilmek için, amplifikatörün geri besleme yokken kararlı olması gerekir.

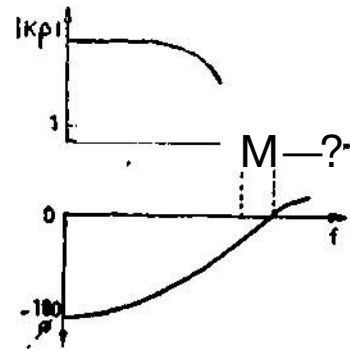
Geri beslemenin şartlı olarak tatbik edileceği devreler vardır. Birkaç amplifikatör tipinin kıs karakteristiğini düşünmek faydalıdır. Çünkü birçok hallerde geri besleme oranı frekanstan bağımsızdır. Amplifikatör kazancının faz ve genliğini ayrı incelemek kâfidir.

Şekil 9 geri beslemesiz tek amplifikatör katının frekans karakteristiğini ve faz kayması karakteristiğini göstermektedir.

Şekil 10 (a) da ise RC kuplajlı amplifikatör katının karakteristikleri görülmektedir. Faz



Şekil 8 — Bir amplifikatör katının kazanç ve faz karakteristikleri



Şekil 9 — Kararlı amplifikatörün geri besleme genlik ve faz karakteristiği

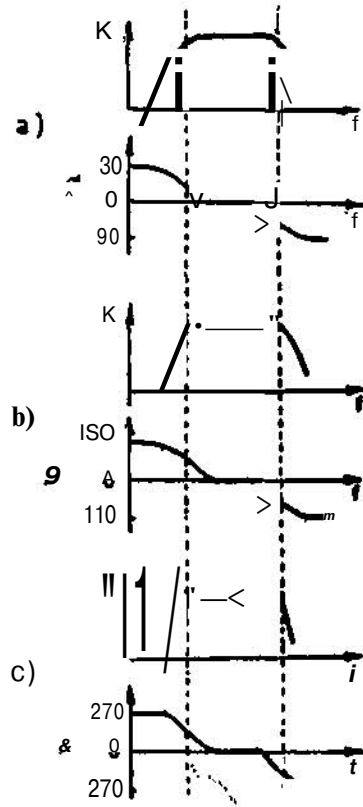
kayması burada asla 90° yi aşmaz. Bu βK 'nın fazının daima $90^\circ + 180^\circ = 270^\circ$ den küçük kalması demektir. O halde tek katlı bir geri beslemeli amplifikatör kararsız olamaz. Şekil 10 (b) de kaskat bağlı iki RC kuplajlı katın ideal karakteristiği verilmiştir. En alçak ve en yüksek frekanslarda faz kayması 180° yi bulur. Fakat kazanç bu uçlarda çok küçüktür. Dolayısıyla bu istenmez. Çünkü toplam faz kaymasının $180^\circ + 180^\circ = 360^\circ$ olduğu yerde $\beta K = 1$ olabilir. Pratik amplifikatörler daima yüksek frekanslarda ilâve faz kaymasına sebep olan kaçak kapasitelere sahiptirler. Eğer kazanç bü-

yükse bu kapasiteler yüksek frekanslarda kararlı olmayan durumlar hasıl edebilir.

Şekil 10 (c) de üç katlı RC kuplajlı amplifikatörün karakteristikleri görülmektedir. Üç faz kayması 270° faz kayması alçak ve yüksek frekansların her ikisinde de karşılaşır Üç katlı geri besleme amplifikatörü, eğer orta frekanslarda kazanç kâfi derecede büyükse muhakkak kararsızdır. Gösterilebilir ki $j\omega K'$ 'nm orta frekanslarda mücade edilen maksimum değeri her ne kadar bu değer amplifikatörü osilasyona yaklaştırırca da sekizdir.

Kazancı düşürmekten başka, bu zorluğu kaldırmak için bir çok imkân vardır. Meselâ üç katlı bir amplifikatörde iki katın band genişliği kalan katın band genişliğinden çok fazla yapılabılır. Bu demektir ki önce şartsız olarak kararlı olan katın faz karakteristiğine karar verilir. Başka bir yol iki kat arasında katlar arası kuplaj devresinin faz kaymasını elimine ederek de kuplaj kullanmaktır. Bilhassa yüksek frekanslarda bir küçük kapasite ile faz ve kazanç karakteristiğini değiştirmek ekseriya pratiktir ve bu da stabilizeyi düzeltir. Umumiyetle bu gibi değişimler elde olmadan ve bilinmeden kaçak tel kapasiteleri yüzünden ampirik olarak gerçekleşir.

- Bu yazı yazarın «Basic Electronics tor Scientislt adlı kitabından çevrilmiştir.



Şekil: 10

- a) Bir Katlı amplifikatörün b) iki katlı amplifikatörün c) üç Katlı amplifikatörün kazanç ve faz karakteristikleri

Milletlerarası Toplantılar Takvimi

30 Ağustos - 3 Eylül 1969 — Radyo ve Televizyon milletlerarası sergisi — Paris Fransa da.

15 Eylül - 6 Ekim 1969 — Aydınlatma milletlerarası Sergisi. Grand Palalsde, Paris, Fransa'da.

22 - 28 Ekim 1970 — Elektronik Komponentleri, ölçü Teçhizatı ve Benzeri Fabrikasyon Ürünlerine alt 4 üncü milletlerarası sergisi — Alanı, Munch, Batı Almanya'da.

22 - 25 Eylül 1969 — Aydınlatma Birinci Avrupa Kongresi. İnsan hayatında aydınlatmanın yeri. Strasbourg, Fransa'da (bilgi için: Association française de l'Eclairage, 52, Boulevard Mallesherbes, 75 - Paris 8, France, fazla bilgi Odamızdan temin edilebilir).

23 - 25 Eylül 1969 — Katı manyetik malzemeler Avrupa Konferansı. Federazione delle Associazioni Scientifiche e Tecniche (F.A.S.T.) binasında, Milano, italya da (bilgi için: F.A.S.T., 2, Piazzale Rodolfo Morandi, 20121 Milano, 'Italia).

6-11 Ekim 1969 — Milletlerarası Nükleer Endüstri Fuarı ve Teknik Kongresi isviçre Endüstri Fuar Salonu - Basel, isviçre (Bilgi için : Nuclex 69 Seretary, CH-4000 Basel 21/İsviçre) (Fazla bilgi Odamızdan temin edilebilir).

11 - 15 Mayıs 1970 — Modern elektrik santalları konusunda milletlerarası araştırma günü. Ltâge Kongre Sarayı, Ltâge, Belçiak'da (bilgi için: Association des Ingénieurs «lectriens sortis de l'Institut electrotechnique Montefiore, 64, Boulevard Emile-de-Laveleye, Liège, Belgique).