

Düşük Güçlü Vericilerde Ekran Modülasyonunun Uygulanması ve Anod Modülasyonu ile Ekonomik Mukayesesi

Yazanlar :

Dr. Mustafa N. PARLAR (*)
Altunkan HIZAL (**)**Kullanılan Semboller :** ω_{nn} Modülasyon frekansı ω_c Taşıyıcı frekans

** Doğru akım Ani

 i akım Frekans r Gerilim Verim E, V Anod dlsipasyonu

Çıkış taşıyıcı gücü

Modüle edilmiş çıkış gücü

Ateşleme açısı

Batarya gücü

Modülasyon periyodu

Taşıyıcı periyodu

Birlenik kondüktans

Tank devresi direnci

 d_c Ekran devresi D.C gücü P_m modülatör anod kaybı P_{pc} RF çıkış katı anod kaybı
(Ekran modülasyonlu sistemde)

= Ajıod modülasyonlu sistemde

 P_{pm} = Modülatör anod kaybı P

• = RF çıkış katı anod kaybı

GİBİŞ

Radyo vericilerinde en büyük problemlerden birisi modülasyon problemidir. Çünkü vericinin gücü arttıkça, modülasyon, sistemin güç bakımından çözülmesi gereken çok önemli bir konudur. Genel olarak, düşük veya yüksek güçteki (0,5 kW'a kadar ve 10 kV'dan fazla) vericilerde plâka modülasyonu uygulanmaktadır. En yaygın olan bu tip Tnodülasyon için gerekli ses yükseltme cihazının, yani modülatörün fiyatı, % 100 modülasyon seviyesinde, radyo frekans çıkış katının fiyatına eşit veya daha fazla olmaktadır. Bu sebeple bu tip modülasyon sistemlerini uygulamak daha masraflı olmaktadır. Yüksek güçteki RF (Radyo frekansı) güç lambaları genel olarak tri-

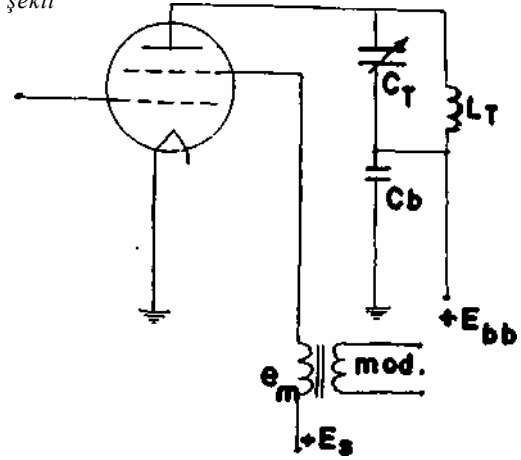
od olduğundan (10 kW'lık tetrod lambalar vardır) ızgara veya plâka modülasyonundan başka bir tip modülasyon şekil kullanmak imkânsız görünmektedir. Bu çalışmada, RF çıkış katında tetrod lambalar kullanılması suretiyle modülasyon problemlerinin ekran modülasyon sistemi kullanılarak mevcut problemin başarılı bir şekilde ve kolayca çözülebileceğini ve bu şekil uygulama ile verici sistemin maliyetinin ortalama olarak % 50 azalacağını göstermek mümkün olmuştur.

Geliştirilen sistem O.D.T.Ü. Radyosu olarak tesis edilmiş ve yayınlara başlamıştır.

EKRANDAN MODÜLE EDİLMİŞ C SINIFI BİR RF YÜKSELTİCİNİN ANALİZİ:

Ekran modülasyonlu C sınıfı bir RF yükseltici Şekil : 1 de gösterilmiştir. Şekil : 1deki anod

şekil



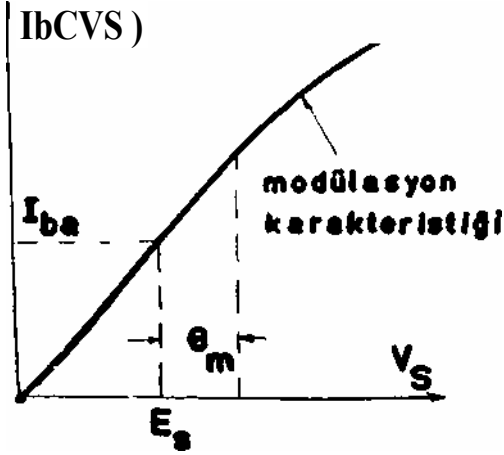
1 — Ekran modülasyonlu C sınıfı bir RF yükseltici

akımının ekran gerilimine göre değişimi Şekil: 2 de gösterilmiştir. Şekil : 1 de gösterilen devrenin çalışması aşağıdaki kabulleri yaparak gösterilen metotla incelenebilir.

(*) O.D.T.Ü. Mühendislik Fakültesi Dekanı.

(**) O.D.T.Ü. Elektrik Mühendisliği Bölümü öğretim üyesi.

Şekil 2 — ŞeMl l'deki yükseltici adımının



ekran gerilimine göre değişimi

Modülasyon karakteristiğinin belli bir modülasyon seviyesine kadar lineer olduğunu kabul edelim, bu takdirde ekran geriliminin değişimi aşağıdaki gibi yazılabilir.

$$V_s = E_s (1 + m \cos \omega_m t) \quad (1)$$

burada $e_m = E_s \cos \omega_m t$ modülasyonun çıkışıdır.

$$m = e_m / E_s \quad (2)$$

modülasyon seviyesini göstermektedir. Aynı şekilde

$$I_s = I_s (1 + m \cos \omega_m t) \quad (3)$$

ya yazılır. I_s ekran akımını göstermektedir. Ekran devresine verilen toplam DC güç aşağıda gösterilen ifade yardımıyla hesaplanır:

$$P_{DC} = \int_0^T I_s (1 + m \cos \omega_m t) dt \quad (4a)$$

Bu integral kolayca alınabilir.

$$P_{DC} = E_s I_s \left[1 - \frac{m^2}{4} \right] \quad (4b)$$

$$Yukarıdaki ifadede $E_s I_s = P_{batı}$ \quad (5)$$

ekran bataryası tarafından verilen güçtür. Meselâ $m = 0,7$ için (% 70 modülasyon)

$$P_{DC} = P_{batı} \left[1 - \frac{m^2}{4} \right] \quad (6)$$

Modülasyonun anod verimi η ise anod kaybı, yani anod da harcanan güç $P_{anod} = P_{DC} - P_m = P_{DC} - \frac{1}{2} P_m$ olur. Bu ifadede

P_{DC} modülasyonun verilen toplam DC gücü göstermektedir. P_m ise modülasyonun ses çıkışı gücüdür.

$$P_{DC} = P_m + P_{anod} \text{ dir. dolayısı ile}$$

$$P_{anod} = (1 - \frac{1}{2} m^2) P_{DC} \quad (7) \text{ elde edilir.}$$

RF çıkış katı anod devresine verilen ortalama DC güç aşağıdaki gibi bulunur.

$$P_{DC} = \int_0^T I_b (t) V_s (t) dt \quad (8)$$

burada :

$$I_b (t) = g_m V_s (t) \quad (8) \quad V_s (t) \text{ ... (1) ifadeden yerne konursa}$$

$$J_{DC} = \int_0^T I_b (t) V_s (t) dt$$

(9) ve integral alınır,

$P_{DC} = E_s I_s \left[1 - \frac{m^2}{4} \right]$ bulunur. Görülüyor ki anod devresine verilen ortalama DC güç bir modülasyon periyodu süresince sabittir. Tabii bu husus düz bir modülasyon eğrisi için doğrudur. Yani g_0 sabit ise varılan sonuç ve belirtilen husus gerçekleşebilir.

Çıkış tank devresinin giriş empedansı üzerindeki RF gücü modülasyonla artar. RF çıkış gücü aşağıda gösterilen ifade yardımı ile bulunabilir :

$$P_{RF} = \int_0^T I_p^2 R dt \quad \text{burada;}$$

P_{RF} RF akımının birinci harmoniğinin efektif değeridir. Dolayısı ile I_p , I_{fa} ye bağlıdır.

$$I_p = g'_{m2} (1 + m \cos \omega_m t) \quad (11)$$

$$g'_{m2} = k g_{m2} \quad (12) \text{ yazılabilir}$$

k , RF kompleks sinyalinin Fourler açılımında I_p ile I_p arasındaki katsayıdır. O halde;

$$P_{RF} = \int_0^T I_p^2 R dt \quad (13) \text{ veya}$$

$$P_{RF} = \int_0^T I_p^2 R dt$$

$$P_{RF} = \int_0^T I_p^2 R dt = \int_0^T k^2 g_{m2}^2 (1 + m \cos \omega_m t)^2 R dt \quad (14)$$

R_c , tank devresinin giriş empedansı olup lamba tarafından görülen empedansa eşittir. (14) ifadede $w_c = w_m$ dir, bunun için integral kolayca alınabilir $(1 + m \cos \omega_m t)^2 = 1 + 2m \cos \omega_m t + m^2 \cos^2 \omega_m t$... (15)

$$P_{RF} =$$

Yukarıdaki ifadede görüldüğü gibi mbdüleU çıtag gücü, modüle olmamıg çıkıg gücünden fazladır. Anod verimi „ ile gösterilirse :

$$(16)$$

veya

$$d + mV2) = j_{j(c)} (1+m=2) (17)$$

buradan ifade (17) de „ jco modüle edilmemıg RF ' katının verimidir. Anod güç kaybı ise P e dir.

$$P_{pc} = P_{dcp} \quad P_c = P_{dcp} \quad c P_{dcp} = t' \quad dcp$$

$$P_{pc} = E_{bb} S_m 2^E S E I - , »$$

$$[(1+mV2)] \dots\dots\dots d »)$$

Bulunan ifade (18) de görüldüğü gibi modülasyon arttıkça anod kaybı azalmaktadır. Anod akımının ekran gerilimine göre değişimi evvelce kabul edildiği gibi tamamen lineer değildir. Bu sebeple, karakteristiğinin lineer kısmını kullanabilmek için normal ekran gerilimini aşağı yukarı yansına kadar düğürmek gerekmektedir. Bu durum ise modülasyonsuz RF çıkıg gücünün düğmesine sebep olmaktadır. Bu şartlar altında ise anod kaybı dolayısı ile artar. Çünkü anod devresi DC gücü (E_{bb}I_{fa}) sabittir. Bu sebeple, çıkış RF takat katı için tatminkâr bir çalışma ancak modülasyon seviyesini çok yüksek tutmakla mümkün olabilir.

Yukarıdaki mülahazadan görülyorki lineer modülasyon elde etmek için ekran geriliminin düşürülmesi lyl bir çözümlü değildir. Makbul çözümlü yolu öyle olmalıdırkl, bununla RF çıkış gücünde fazla bir düğme olmasın ve oldukça yüksek bir seviyeye kadar lineer modülasyon yapılabilsin. şekil 3 ün yardımı ile çıkış lambalarının modüle edilmişken çalışma durumu irdelenebilir. şekil 3 te Q anod akımının akma süresinin rad-

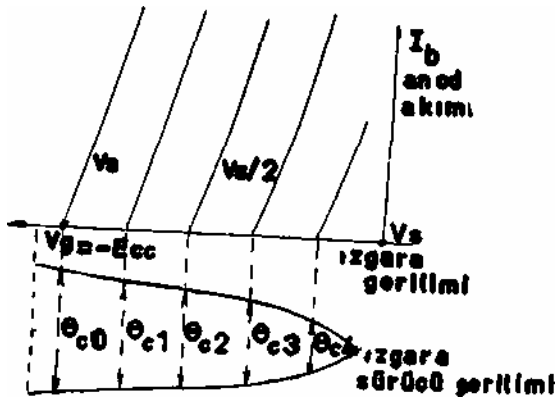
yan olarak karşılığıdır. Sabit ekran gerilimi eğrileri ve ızgara sürücü RF sinyali ile modülasyona göre #c nln değişimi gösterilmiştir. Qc, O ile * arasında değişmektedir. Ekran gerilimi yarıya yakın bir değere indirildiği takdirde lineer modülasyonun mümkün olacağı, fakat buna mukabil ortalama Sc değerinin de düşmesinden dolayı RF çıkıg katının önemli miktarda düşeceği kolayca görülebilir. O halde, lambanın C tipi çalışma modu değiştirilmelidir. Eğer, ızgara gerilimi ve ekran gerilimi beraberce azaltılırsa ekran geriliminin düşmesinden dolayı lineer modülasyon, ızgara geriliminin düşmesinden dolayı yüksek bir ğe ortalama değeri elde edilir. Bu demektirki ekran geriliminin düşürülmesi ile kaybedilen çıkış gücü, ızgara geriliminin düşürülmesi ile (daha az negatif yapılması ile) kısmen giderilebilir. Lamba, ekran modülasyonunda C-B modunda çalıştırılmalıdır. ızgara geriliminin düşürülmesi, anod kaybı bakımından şu şekilde tesir eder: En fazla anod verimi C modunda elde edilir. Çalışma modu B'ye yaklaştığı için modülesiz anod verimi % 80 ila % 70 ten % 60 ila % 50 ye kadar iner. (17) ifadeden görüleceği gibi modüle edllmlg çıkış katının anod verimi „ (1+m²/2) fonksiyonuna göre artar. Ekran ve ızgara gerilimlerinin ne miktar artacağı deneysel olarak bulunacağı gibi grafiksel olarak da bulunabilir. Bu iği yaparken, göz önünde bulundurulacak husus gu olmalıdır. Ortalama #c değeri öyle ayarlanmalıdırki, modüle edilmemiş lambanın anod verimi maksimum olsun ve oldukça yüksek bir seviyeye kadar lineer modülasyon elde edilsin.

Yukarıda izah edildiği şekilde ayarlanan ekrandan modüle edilmıg bir RF katı tatminkar bir çalışma özelliği gösterir.

Ekran modülasyonunun düğük güçlü vericilerde uygulanabilme durumunun aragıtılması esas olarak ekonomik sebeplere dayanmaktadır. Bu hususun matematik izahı çalışmanın 3. kısmında yapılmıştır.

ANOD VE EKRAN MODULASYONLU VERİCİLERİN EKONOMİK MUKAYESESİ:

Ekran modülasyonu uygulanmıg bir vericinin modülatörünün anod kaybının, RF çıkıg katının anod kaybına oranı x_s ile gösterilecektir. Anod modülasyonu bir vericide aynı oran \ ile gösterilecektir. X_s ve \ 'nin sayı olarak mukayesesi, yukarıda zikredilen iki tip modülasyonlu vericilerin çıkış katlarının flat olarak mukayesesinde esas alınacaktır. (7) ve (18) ifadeleri kullanılarak x_s in hesaplanması için gereken ifade elde edilebilir.



şekil : 3.

$$U / (1 - \cos \theta) \quad (20)$$

veya

$$2 \cdot m (1 - \cos \theta) \quad (20)$$

yukarıdaki ifadeyle :

$$AV \quad E \quad (21)$$

$$2 \cdot m (1 - \cos \theta) \quad (22)$$

(22). ifadeyle « (17). denkleminde verilmiştir. aşağıdaki şekilde hesaplanır. Lineer bir modülasyon kabul edersek

$$i_b = I_{ba} (1 + m \cos \omega_m t) \quad (23)$$

$$e_b = E_{bo} U + m \cos \omega_m t \quad (24)$$

$$2ic \quad \bullet \cdot dcp' \quad \bullet \quad 2V \quad \bullet \quad \theta (1 + m \cos \omega_m t)^2 d (w_{mt}) \quad \dots$$

$$P_{dcp} = E_{bb} I_{Da} \quad (26)$$

$$(25). \text{ ve } (26). \text{ ifadelerde } P = \quad (27)$$

$$P_{pc} = \text{Anod kaybı} = P_{dcp} - P_c = P_{dcp} (1 - \dots) \quad (28)$$

Modülasyonun anod kaybı :

$$P_{pm} = (1 - \cos \theta) P_m \text{ olur. Burada } v_m \text{ modülasyonun anod verimidir.}$$

P_m (28). ifadeyle yerine konursa:

$$P_{pm} = U / (1 - \cos \theta) J P^* \quad (29) \text{ bulunur. O halde :}$$

$$X_p = \dots + mV2) \quad (30)$$

X_p ve X_p nin (1) l k W gücünde bir verici için karşılaştırılması misal olarak aşağıda yapılmıştır.

$\lambda : m, n, m, t_j c$ için şu değerler kabul edilebilir -

| | |
|-----------------|------|
| $m = \% 60$ | 0,60 |
| $i_m = \% 50$ | 0,50 |
| $\dots = \% 75$ | 0,75 |

$$(30). \text{ ifadeyle, } \dots = 0,153$$

$$A_p = (0,153) \quad (31)$$

$$E = 500$$

$$I = 60 \text{ mA} = 15 \text{ W}$$

$$P_{nb} = E_{nb} I_{nb} = 3000 \times 500 \text{ mA} = 1,5 \text{ kW}$$

$$(22). \text{ ifadeyle } \dots = 4,5 \times 10^{-3}$$

$$X_p \text{ ve } A_p \text{ birbirine oranı alınır, } \dots = 7,3 \times 10^{-3}$$

0,615

Bu oran aynı vericide iki tip modülasyon uygulandığı zaman gerekli ekran ve anod modülatörlerinin anod kayıplarının oranı $7,3 \times 10^{-3}$ veya yaklaşık olarak % 1 dir. Bu sebeple, ekran modülasyonunun anod modülasyonundan % 99 daha ucuza mal edileceği ortaya çıkar. Bu fiyat mukayesesi, en pahalı kat olan çıkış katları arasında yapılmıştır. Anod modülasyonunda, genellikle modülasyonun ve RF çıkış katının güç lambaları aynıdır. Dolayısıyla ile modülasyon için yüksek gerilim DC güç kaynağının kapasitesi % 100 modülasyon için m2

$$(1H \dots) = 1,5 \text{ misli fazla olmalıdır. Bu da}$$

ayrı bir fiyat artışına sebep olur. Halbuki ekran modülasyonunda % 70 modülasyon gerektiğine göre sadece $P_m = 0,245 P_{bb}$ (6), $P_{baB} = 15 \text{ W}$ veya $P_{m>} = 0,245 \times 15 = 4 \text{ W}$, bu güç içinde ayrı bir yüksek gerilim kaynağına ihtiyaç yoktur, $m = 0,70$ için $P_{m1} = 4 \text{ W}$ $P_{mp} = 1/2 mV^2$ (27)

$$P_{mp} = 245 \times 1500 p = 400 \text{ W}$$

Oranlar alınır; $P_m/P_{mp} = 4/400 = 1/100 = \% 1$ Görülüyor ki, X_p P_m/P_{mp} A_{vnl} vericide kullanılan iki tip modülasyon şeklinde x_a ve λ^{nm} sayıları olarak mukayesesi Tablo : 1 de değişik modülasyon değerleri (seviyeleri) için yapılmıştır.

(1) Bu misalde ve ekonomik mukayese tablosunda O.D.T.U. de yapılan ekran modülasyonlu 1 kW'lık kısa dalga vericisinin değerleri kullanılmıştır.

TABLO: 1

| M_p | m | A_p | A | A/A_p |
|-------|------|-------|-----------------------|-----------------------|
| 0,50 | 0,50 | 0,445 | $0,32 \times 10^{-2}$ | $0,7 \times 10^{-3}$ |
| 0,60 | 0,60 | 0,615 | $0,45 \times 10^{-2}$ | $0,73 \times 10^{-8}$ |
| 0,70 | 0,70 | 0,78 | $0,61 \times 10^{-2}$ | $0,78 \times 10^{-3}$ |
| 0,80 | 0,70 | 0,97 | $0,61 \times 10^{-2}$ | $0,63 \times 10^{-8}$ |
| 0,90 | 0,75 | 1,15 | $0,70 \times 10^{-2}$ | $0,60 \times 10^{-8}$ |
| 1,0 | 0,75 | 1,33 | $0,70 \times 10^{-2}$ | $0,53 \times 10^{-3}$ |
| 1,0 | 0,80 | 1,33 | $0,8 \times 10^{-2}$ | $0,60 \times 10^{-3}$ |

Bu tablo incelenirse, görüldüğü gibi $x/A S^{ok}$ düşük bir orandır; % 1 gibi. O halde eğer anod modülasyonlu vericinin fiyatı 2 birim alırsak ekran modülasyonlu vericinin fiyatı 1 birim olur.

SONUÇ :

Yukarıda ekran ve anod modülasyonlu bir vericinin ekonomik mukayesesi yapılmıştır; ve neticede ekran modülasyonlu vericinin % 50 daha ucuza mal olabileceği görülmüştür. Düşük güçlü vericilerde ekran modülasyonunun başarı ile uygulanabileceği bu yazının ikinci kısmında gösterilmiştir.

O halde, memleketimizin taşra şehirleri için son derece ucuza mal olabilecek düşük güçlü bir verici imâl etmek mümkündür. Ekran modülasyonu bu yazıda izah edildiği gibi kullanılırsa normal ve tatminkâr bir çalışma elde edilir. Orta Doğu Teknik Üniversitesinde bu meyanda bir çalışma yapılmıştır, 1 kW gücünde bir verici imâl

edilmiş ve ekran modülasyonu kullanılmıştır. Elde edilen netice, bir çok taşra şehirleri için aynı tip vericilerin kolaylıkla ve çok ucuz olarak imâl edilebileceğini göstermesi bakımından ümit vericidir. Bu çalışmanın yapılması için gerekli mali desteği sağlayan O.D.T.Ü. Rektörü Sayın Kemal Kurdaş'a ve anten bağlantı ve ayar problemlerimizde yardımlarda bulunan O.D.T.Ü. Elektrik Bölümü öğretim Üyesi Dr. Elek. Yük. Müh. Canan Toker'e teşekkürlerimizi belirtmek isteriz.

KAYNAKLAR:

- 1) Electronics and Radio Engineering Terman. Mc. Graw Hill book Comp Inc 1955.
- 2) Applied Electronics MİT John Wiley and Sons. Inc. 1944.
- 3) Telecommunications I and n parti by Metin Akgün published in the Electrical Engineering Department in Middle East Technical University.