

UZUNLUK ve UZANIM ÖLÇÜLERİNDE YÜKSEK Q REZONANS TEKNİĞİ

Dr. Ziya GÜNER (*)

Dr. Korkut YALTKAYA (**)

Dr. Ferit PEHLIVAN (***)

Laboratuvar olanaklarımız içinde geliştirdiğimiz yüksek Q rezonans devreli uzunluk ve uzanım çevireci (transducer) ile uzunluk ölçülerinde 0,01 mm/mV düzeyde bir duyarlılığa ulaşılmıştır. Ayrıca bir osiloskop veya otomatik kayıtçı (recorder) ile uzanım zaman değişim eğrilerini kaydetmek mümkün olmaktadır.

Geliştirdiğimiz çevireç 30µ civarındaki uzunluk değişimlerini detekte edebilmekte, sitemde aynı mertebede bir boyca değişim sağlayabilmek için 50 dyne (yaklaşık olarak 0,05 gr) lik bir kuvvet uygulanması yeterli olmaktadır.

Çevirecin ölçü aralığının mikronlar basamağından santimetreler basamağına kolaylıkla değiştirilebilir olması, sabit aralıklı (örneğin direnç telli uzunluk çevireçlerinde 70µ kadardır) çevireçlere (1) göre üstünlük sağlamaktadır.

MATERYAL ve METOD

Radio frekans yüksek Q rezonans devreli uzunluk ve uzanım çevirecinin temel elemanı, dairesel ve tek kat sarımlı yay şeklinde bir akım makarasıdır. Böyle bir akım makarasının özindüksiyon katsayısı, makara parametrelerine bağlı olarak,

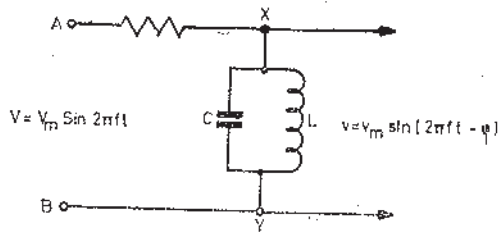
(*) A.Ü.Tıp Fak. Medikal Fizik Kürsüsü Profesörü

(**) A.Ü. Tıp Fak. Nöroloji Kürsüsü Doçenti

(***) A.Ü. Tıp Fak. Medikal Fizik Kürsüsü Asistanı

$$L = \mu \frac{N^2 A}{l} \quad (A: m^2, \quad l: m, \quad L: henry) \quad (1)$$

şeklinde ifade edilir. Burada L , makaranın özindüksiyon katsayısı; $\mu = 4\pi \cdot 10^{-7}$ henry/m; N , makaranın sarım sayısı; A , bir sarımın yüzölçümü; l ise makaranın uzunluğudur. Böyle bir akım makarası ve buna paralel bağlı bir kondansatörle oluşturulmuş paralel LC devresi, büyük bir R direnci ile seri olarak bağlanmış olsun. Elde edilen elektrik devresinin AB uçları arasına, Şek. 1'de görüldüğü gibi $V = V_m \sin 2\pi ft$ şeklinde sinüsoidal bir



Şekil 1. Paralel LC rezonans devresi, V uygulanan sinüsoidal gerilimin genliği, f sinüsoidal gerilimin frekansı, t zamandır.

gerilim uygulandığında, paralel LC devresi uçları arasında oluşan sinüsoidal gerilimin genliği,

$$v_m = \frac{|Z_{LC}|}{|Z_{LC} + R|} V_m \quad (2)$$

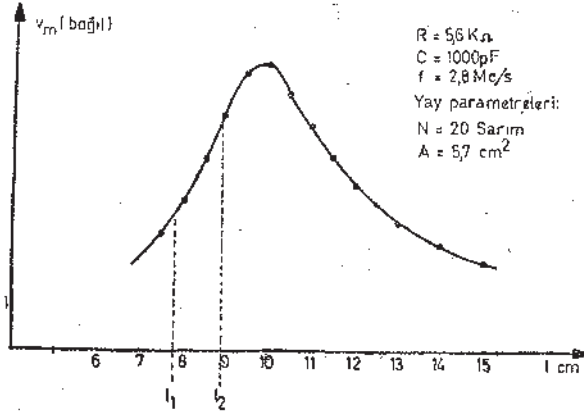
şeklinde yazılabilir. Burada $|Z_{LC}|$, paralel LC devresinin empedansıdır. R direnci $|Z_{LC}|$ yanında yeterince büyük seçilirse, (2) bağıntısı, yaklaşık olarak,

$$v_m = \frac{V_m}{R} |Z_{LC}|$$

şeklinde de ifade edilebilir. $|Z_{LC}|$ empedansının değeri, makaranın L özindüksiyon katsayısı, kondansatörün C siası ve uygulanan gerilimin f frekansının bir fonksiyonudur. (1) ve (2) bağıntıları da dikkate alınırsa, Şek. 1'deki gibi kurulmuş bir elektrik devresinde, paralel LC devresinin uçları arasında oluşan gerilimin v_m genliği, R, C, f, V_m, N, A, l, Q parametreleri cinsinden, kapalı olarak,

$$v_m = \text{fonk} (Q, R, C, f, V_m, A, l)$$

şeklinde yazılabilir. Burada Q parametresi, devrenin kalite faktörü denilen ve rezonans keskinliğini belirleyen bir parametredir. Buna benzer çok değişkenli ve çok parametrelili ilişkilerde, parametrelerden bir kısmı sabit tutularak ilişki basitleştirilebilir. Model devremiz için, Q, R, C, f, V_m parametreleri ile akım makarasının N ve A parametreleri sabit tutularak, v_m genliği, yalnızca, kullanılan yayın yay uzunluğuna göre değiştirilebilir. v_m genliğinin yay uzunluğuna göre değişim grafiği, Şek. 2'de görüldüğü gibi bir rezonans eğrisi vermektedir.



Şekil 2. Paralel LC devresi uçları arasındaki gerilim genliğinin yay uzunluğuna göre değişimi

Yay boyundaki küçük bir değişime karşılık, v_m genliğindeki değişim miktarı, dv_m ,

$$dv_m = \left(\frac{\partial v_m}{\partial l} \right) dl$$

şeklinde yazılabilir. $\partial v_m / \partial l$ kısmi türevi, $v_m(l)$ fonksiyonu ile belirlenen rezonans eğrisinin teğetinin eğimini belirtir. Diğer parametreler sabit tutulduğunda bu eğimin değeri, yalnızca yay boyuna bağlı olarak değişir.

Yayın boyca değişimleri çok küçük kaldığında (örneğin Şek. 2'de $l_1 - l_2$ aralığında), bu aralıktaki eğim yaklaşık sabit

alınabileceğinden, Δv_m genlik değişimleri yayın Δl boyca değişimleri ile orantılı olur. Yayın l_0 ilk uzunluğu, $l_1 - l_2$ aralığına düşecek şekilde seçilerek, yayın Δl boyca değişimleri, Δv_m genlik değişimleri şeklinde gözlenebilir ve

$$\Delta v_m = k \Delta l \quad (6)$$

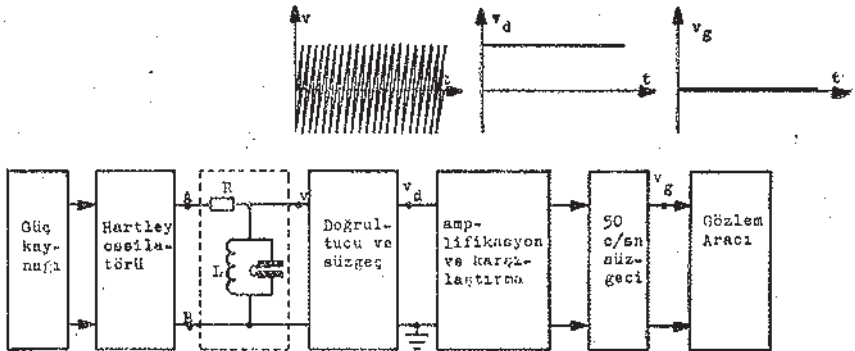
yazılabilir.

Yayın Δl boyca değişimlerine karşılık yeterince büyük Δv_m genlik değişimi sağlamak için, uygun bir Q kalite faktörü ve yeterince büyük giriş gerilimi ile çalışmak zorunludur.

Uygun bir elektriksel gözlem aracı ile v_m genliğindeki değişimlere bakarak, yay uzunluğundaki değişimleri veya yay uzunluğunu değiştiren başka nicelik değişimlerini ölçmek ve gözlemek olanaklıdır.

DOĞRU GERİLİM ÇIKIŞLI UZANIM ÖLÇERİ ve AYRINTILARI

Geliştirdiğimiz doğru gerilim çıkışlı uzunluk ve uzanım çevircinin blok diyagramı Şek. 3'de çizilmiştir.



Şekil 3. Doğru gerilim çıkışlı uzunluk ve uzanım çevircinin blok diyagramı (v , v_d ve v_g gerilimlerinin zaman değişim eğrileri çizilirken yay uzunluğunun sabit kaldığı düşünülmüştür.

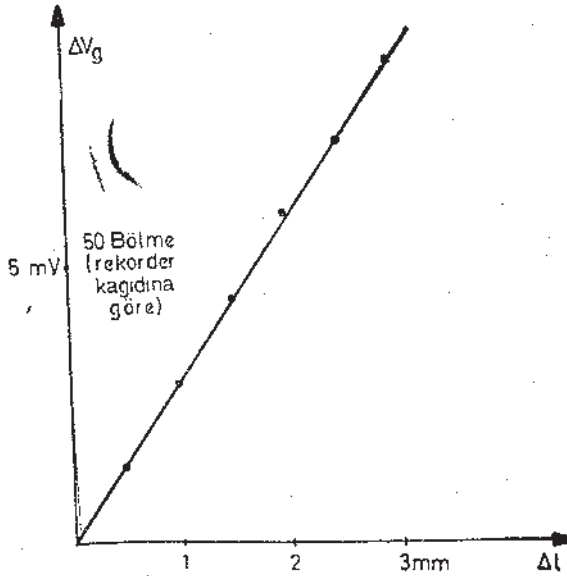
- Güç kaynağı : 250 volt sabit çıkışlı ve % 1 regüledir.
- Hartley ossilatörü : Sabit genlikli ve sabit frekanslı ($f = 1,6 \text{ Mc/s}$) sinüsoidal gerilim veren bir ossilatördür.

c) **Paralel LC devresi** : Şek. 1'de belirtilen devredir. Kullanılan direnç ve kondansatörün değerleri $R = 5,6 \text{ K}\Omega$ ve $C = 1 \text{ nF}$ 'dir ve amaca göre değiştirilebilirler. Yay parametreleri ise, kesit $A = 5,7 \text{ cm}^2$, $N = 20$ sarım, ortalama uzunluk $l = 7,5 \text{ cm}$ 'dir.

d) **Diyod doğrultucu ve süzgeç** : Bu basamakta, paralel LC devresi uçları arasından alınan yüksek frekanslı v gerilimi doğrultulur ve süzülür. Elde edilen v_d doğru gerilimindeki değişimler sinüsoidal gerilimin v_m genliğindeki, dolayısıyla yay uzunluğundaki değişimlerle orantılı olmaktadır.

e) **Amplifikasyon ve karşılaştırma basamağı** : Kazancı 5 olan bir fark amplifikatörüdür. Referans gerilimi değiştirilerek yayın belirli bir l , uzunluğu için gözlem gerilimi $v_g = 0$ yapılabilir. bilmektedir.

v_g gözlem geriliminin yayın Δl boyca değişimlerine göre grafiği Şek. 4'de çizilmiştir. Δl , 3 mm.'den küçük kaldığında sistemin duyarlığı yaklaşık olarak sabit ve $(2,8 \pm 0,1) \text{ mV/mm}$ dir.



Şekil 4. Doğru gerilim çıkışı uzunluk ve uzanım çevirecinde çıkış geriliminin uzanıma göre değişim grafiği.

f) Gözlem aracı olarak voltmetre veya servo-kayıtçı kullanılabilir. Sistem, 0,1 mV'luk gerilim değişimlerini ayır-dedebilen «HEATH servo-recorder EU-20 B servo-kayıtçı» ya ayar-lanmış, grafik kâğıdı bölmelemesine göre duyarlık (scale sen-sitivity) 0,032 mm/bölme bulunmuştur.

Sistemde kullanılan yayın esneklik kuvvetleri yanında ey-lemsizlik ve sürtünme kuvvetleri ihmal edilemediğinde, sistem, II. mertebeden bir ölçü aracı gibi davranmaktadır (2). II. mer-tebe ölçü araçlarının genel davranış denklemi olan,

$$M \frac{d^2x}{dt^2} + R \frac{dx}{dt} + Sx = F$$

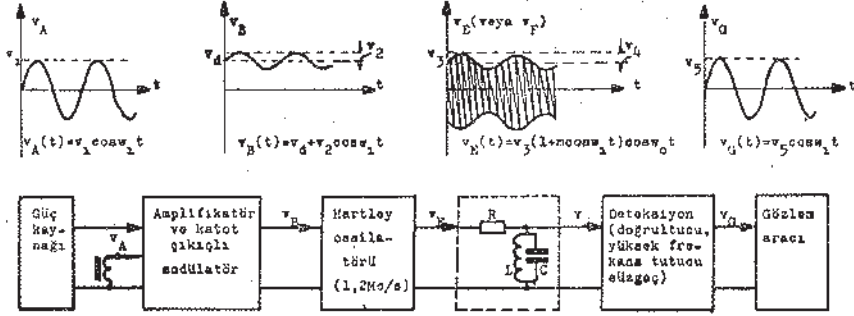
bağıntısına giren sabitler, sistemimizin çevre ile etkileşimleri minimum iken belirlenmiş ve yayın kuvvet sabiti $S=10^4$ dny/cm, yayın eylemsizlik kütlesi $M = 3$ gr, yayın sürtünme sabiti $R \sim 4$ gr/sn bulunmuştur. Yay bu durumu ile öz titreşim fre-kansı $f_n \sim 10$ sn⁻¹ olan sönümlü titreşimler yapmaktadır. Sönüm-lü titreşimlerin kaybolması için minimum sürtünme sabiti $R_0 = 350$ gr/sn olarak hesaplanmıştır. Ölçü ve gözlem sırasın-da daha büyük sürtünmeler ortaya çıktığında, titreşimler kay-bolmakta ve sistemimizin yanıtı etki frekansına bağlı olmamak-tadır.

Bu sistem fare femurlarının eğilme miktarlarını ölçerek es-neklik özelliklerinin değişimini incelemede kullanılmıştır (4).

GENLİK MODÜLASYONLU UZANIM ÖLÇERİ ve AYRINTILARI

Paralel LC devresinin girişine sabit genlikli bir gerilim ye-rine genlik modülasyonlu yüksek frekanslı bir gerilim uygulan-dığında, AC amplifikatörlü gözlem araçları ile de çalışmak ola-naklıdır. Geliştirdiğimiz genlik modülasyonlu uzanım ölçerinin blok diyagramı ve alt sistemlerin çıkış noktalarındaki gerilim-lerin zaman değişim eğrileri Şek. 5'de çizilmiştir.

a) Güç kaynağı : 250 volt sabit çıkışlı, % 1 regüledir.



Şekil 5. Genlik modülasyonlu uzanım ölçeri blok diyagramı ve alt sistemlerin çıkış noktalarındaki gerilimlerin zaman değişim eğrileri (değişim eğrileri çizilirken yay yuzunluğunun sabit kaldığı varsayılmıştır).

b) **Amplifikatör ve katot çıkışlı modülatör** : Amplifikatör girişine $v_A = v_1 \cos \omega_1 t$ şeklinde ifade edilebilen (v_1 genliği 6,3 $\sqrt{2}$ volt, ω_1 açısal frekansı : 100 π rad/sn) sinüsoidal şebeke gerilimi uygulanmıştır. Katot çıkışlı modülatörün çıkış gerilimi $v_B(t)$, v_d doğru gerilim bileşinini göstermek üzere, $v_B(t) = v_d + v_2 \cos \omega_1 t$ şeklinde ifade edilebilir.

c) **Hartley Ossilatörü** : $f_0 = (\omega_0 / 2\pi) = 1,2$ Mc/sn sabit frekanslı bir ossilatördür. Ossilatörün çıkış gerilimi, lamba plakasına uygulanan $v_B(t)$ gerilimine bağlı olarak $v_E(t) = v_3(1 + m \cos \omega_1 t) \cos \omega_0 t$ şeklinde ifade edilebilir (3). Bağlantıda,

$$v_3 (1 + m \cos \omega_1 t)$$

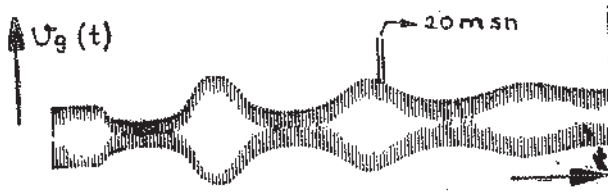
çıkış geriliminin genliğidir ve $\omega_1 = 100 \pi$ rad/sn, $m = v_4/v_3 = 0,50$ seçilmiştir.

d) **Paralel LC devresi** : Modüle yüksek frekanslı gerilimlerde voltaj bölüşümü yapıldığında modülasyon oranı değişmediğinden, yayın uzunluğu sabit kaldığında paralel LC devresi uçları arasındaki $v_F(t)$ geriliminin değişimi $v_E(t)$ geriliminin değişimine benzer. Yay uzunluğuna bağlı olarak yüksek frekanslı gerilimin v_3 genliği değiştiğinde, m modülasyon oranı sabit kalacak şekilde, modülasyon geriliminin genliği v_4 de değişir.

e) **Deteksiyon** : Bu basamakta bir kristal diyot ve yüksek frekans tutucu süzgeç kullanılarak, modülasyon gerilimi

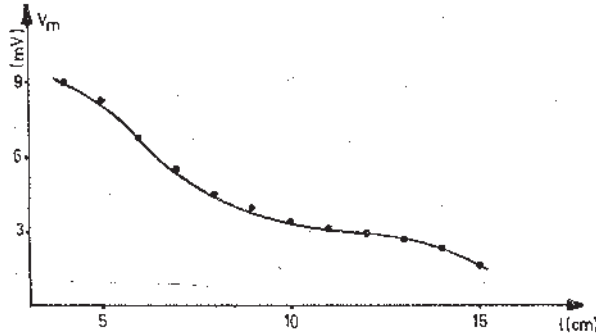
yüksek frekanslı gerilimden ayrılmıştır (demodülasyon). Demodülasyon çıkış gerilimi $v_g(t)$, 50 c/sn frekanslı bir gerilimdir ve bu gerilimin genliği yay uzunluğunun bir fonksiyonudur. Yay uzunluğunun küçük değişimleri halinde, genlik uzanımıyla orantılı olarak değişmektedir.

f) **Gözlem aracı** : $v_g(t)$ gerilimini doğrudan doğruya veya amplifikasyon ve doğrultma işlemlerine tabi tuttukten sonra, osiloskop, elektrograf, servo-recorder gibi araçlarla gözlemek ve yay uzunluğu hakkında bilgi edinmek olanaklıdır. $v_g(t)$ gerilim değişimlerinin elektrografi yöntemi ile çizdirilmesi, zaman bilgisi de taşıması bakımından üstünlük sağlamaktadır. Şek. 6 da görülen örnekte, $v_g(t)$ geriliminin frekansı 50 1/sn olduğundan, 1 periyot 20 milisaniye karşılıktır.



Şekil 6. $v_g(t)$ geriliminin zaman değişim eğrisi Gerilimin genliği yay uzunluğuna bağlı olarak değişmektedir.

Sistemin DISA EMG osiloskobuna göre duyarlığı arzu edilen çok büyük olduğundan paralel LC devresine 50 Ω 'luk bir direnç paralel bağlanarak Q faktörü küçültülmüş, ayrıca voltaj bölüşümü ile kazanç azaltılarak duyarlık ortalama 1,2 mV/



Şekil 7. $v_g(t)$ gerilim genliğinin yay uzunluğuna göre kalibrasyon eğrisi.

cm'ye düşürülmüştür. $v_e(t)$ geriliminin genliğinin yay uzunluğuna göre değişimini gösteren kalibrasyon eğrisi Şek. 7'de çizilmiştir (4).

Etki frekansı 7 c/s'den küçük olduğunda sistemin yanıtı etki frekansına bağlı olmamaktadır.

ÖZET :

Laboratuvarımızda, doğru gerilim çıkışlı ve alternatif gerilim çıkışlı olmak üzere, iki ayrı uzunluk çevireci geliştirilmiştir. Çevireçlerin her ikisinde de, empedansı, indüktif eleman olarak kullandığımız bir yayın uzunluğuna bağlı olan radyo frekans paralel LC devresinin empedans değişiminden yararlanılmıştır.

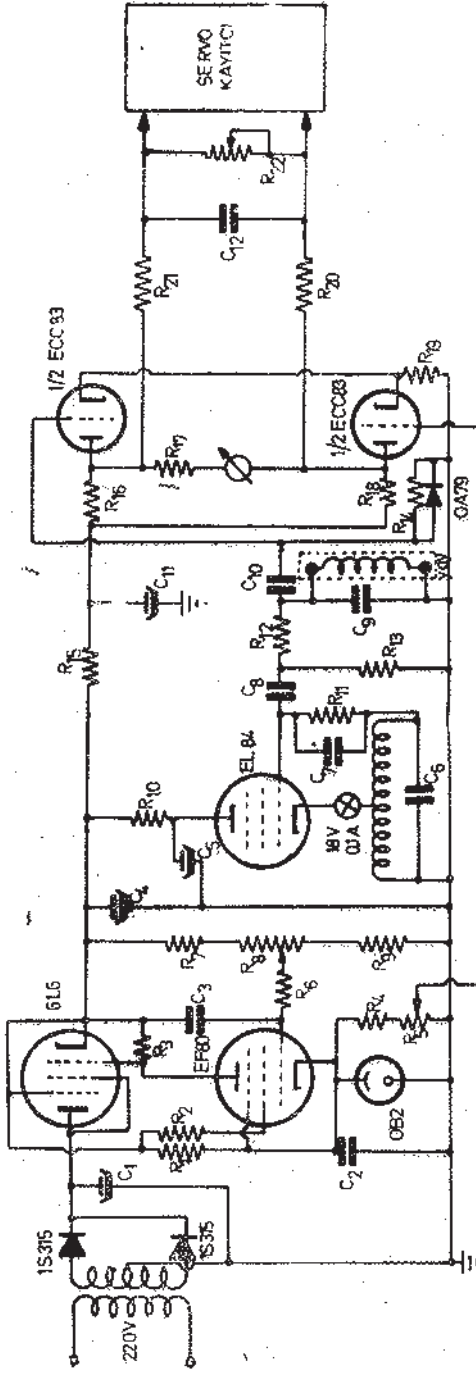
Doğru gerilim çıkışlı çevirecin duyarlılığı 2,8 mV/mm, HEATH EU - 20 B servo kayıtçı kâğıdına göre skala duyarlılığı 0,032 mm/bölme, alternatif gerilim çıkışlı çevirecin DISA EMG osiloskobuna göre indirgenmiş duyarlılığı ise 1,2 mV/cm'dir.

SUMMARY

HIGH Q RESONANCE TECHNIQUE IN MEASUREMENT OF LENGTH AND DISPLACEMENT

Two different length transducers have been developed in our laboratory, one of which gives DC output voltage and the other gives AC output voltage. The impedance change in a radio frequency parallel LC circuit, the impedance of which depends on the length of a spring which is the inductive element of the circuit, has been used in both of these transducers.

The sensitivity of the DC-output transducer is 2,8 mV/mm, and its scale sensitivity according to the paper of HEATH EU - 20 B servo-recorder is 0,032 mm per division, and the reduced sensitivity of the AC-output transducer according to DISA EMG oscilloscope is about 2,8 mV/cm.



$R_1 = 28K$	$R_6 = 1M$	$R_{11} = 39K$	$R_{15} = 80K$	$R_{21} = 22K$	$C_1 = 100 \mu F$	$C_5 = 10 \mu F$	$C_9 = 1nF$
$R_2 = 150K$	$R_7 = 100K$	$R_{12} = 56K$	$R_{17} = 10K$	$R_{22} = 100K Pot$	$C_2 = 0.01 \mu F$	$C_6 = 500 pF$	$C_{10} = 1nF$
$R_3 = 50K$	$R_8 = 100K Pot$	$R_{13} = 470K$	$R_{18} = 80K$		$C_3 = 0.05 \mu F$	$C_7 = 300 pF$	$C_{11} = 20 \mu F$
$R_4 = 40K$	$R_9 = 100K$	$R_{14} = 270K$	$R_{19} = 22K$		$C_4 = 10 \mu F$	$C_8 = 1500 pF$	$C_{12} = 0.5 \mu F$
$R_5 = 10K Pot$	$R_{10} = 2.2K$	$R_{15} = 22K$	$R_{20} = 22K$				

Ek.1 Doğru Gerilim Çıkışı Uzunum Ölçeri

LİTERATÜR

- 1) LION, K.S., Instrumentation in Scientific Research, Mc Graw-Hill Book Co, s: 23-70., 1959.
- 2) STACY, R.W.: Biological and Medical Electronics. Mc Graw-Hill Book Co, s: 8-26, 1960.
- 3) ARGUIMBAU, L.B.: Vacuum-Tube Circuits and Transistors, John Wiley and Sons, s: 255-262, 1964.
- 4) KORKUSUZ, Z., KARAGÖZ, G., PEHLİVAN, F., SEPİCİ, B.: The effect of castratomy on the mechanical properties of bone. Acta Medica Turcica, 0: 10, 1972,
- 5) YALTKAYA, K.: Normalde, Spastisitede, rijiditede Patella refleksinin elektrofizyolojik ve mekanik özellikleri hakkında çalışma, Doçentlik Tezi, A.Ü. Tıp Fak., 1971.