



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

Nükleer Reaktör Ens. için En. Say. Tas.

Yüksek Lisans Tezi

ALTAN YILDIZ

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

D.B. No 46062

YILDIZ ÜNİVERSİTESİ

FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

NÜKLEER REAKTÖR ENSTRÜMANTASYONU İÇİN

ENERJİ SAYACI TASARIMI

32

YÜKSEK LİSANS TEZİ

MUH. ALTAN YILDIZ



İSTANBUL 1989

ÖZET

SUMMARY

Bu çalışmada 'Nükleer Reaktör Enstrümantasyonu için Enerji Sayacı Tasarımı' konusu ele alınarak Türkiye Atom Enerjisi Kurumu'nun sahibi ve işleticisi olduğu, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde (CNAEM) bulunan TR-2 Araştırma Reaktörü için, giriş işaretinin güç ölçme kanalları üzerinden alınacağı bir elektronik enerji sayacı (kilowatt-saat-metre) tasarlanmıştır.

Devre daha sonra komple bir ölçme sistemi haline getirilerek, reaktör gücünün hassas ve lineer bir şekilde ölçüldüğü 'AZOT-16 (N-16)' Güç ölçme kanalına bağlanarak odada bulunan diğer enstrümantasyon cihazlarıyla birlikte çalıştırılmaya başlanmıştır.

Tezde, reaktörün enstrümantasyonunda kullanılan güç ölçme sistemleri kısaca tanıtılmış ve geliştirilen sistemin reaktörde üretilen güce bağlı olarak enerjiyi hesaplaması ayrıntılı bir şekilde açıklanmıştır.

Bu araştırma konusunu bana vererek beni yönlendiren Sayın Prof.Dr.Sezgin ALSAN'a teşekkürlerimi sunarım.

Saygılarımla

SUMMARY

In this work, 'The Design of An Energy Counter for Nuclear Reactor' is studied, and for TR-2 Researching Reactor which has been founded in the Cekmece Nuclear Research and Training Center (CNAEM) which belongs to the Turkish Atomic Energy Authority, an electronic energy counter (kilowatt-hour-meter) is designed that input signal will be taking from the power measuring channels.

Then the circuit is constructed as a complete measurement system, connected to the linear and precise power measuring channel 'N-16.' The device is started to work with the other instrumentation systems in the reactor controlling room.

In thesis, the instrumentation systems of the reactor is shortly introduced and depend on the produced power, the energy calculation method of the developed system is explained in details.

I would like to thank to Assoc.Prof.Dr. Sezgin Alsan whose suggestions and criticisms have helped me with this thesis.

İÇİNDEKİLER

1. GİRİŞ	1
1.1. Tanıtım	1
1.2. ÇNAEM TR-2 Reaktörü	2
2. ENTROMANTASYON İÇİN GÜÇ ÖLÇÜMÜ ve ENERJİ HESABI	3
2.1. Güç Ölçme Kanalları	3
2.1.1. Logaritmik Güç ve Periyot Ölçme Kanalları	3
2.1.2. Lineer Güç Ölçme Kanalları	5
2.1.3. N-16 Kanalı	5
2.1.4. Isıl Güç Kanalı	6
2.2. Enerji Hesabı	6
3. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN YAPISI	8
3.1. Temel Yapı - integral Alıcı	8
3.2. Gerilim Frekans Çeviricileri	9
3.2.1. Çeşitli VFC Devreleri	10
3.3. Sistemde Kullanılan VFC	16
3.3.1. TSC9401 ile yapılan VFC Tasarımı	19
3.4. Bölme Oranlarının Belirlenmesi	22
3.5. Sistemin Frekans Bölücülerİ	23
3.6. Sayıcıların Sürülmesi	26
3.7. Besleme Devresi	27
3.8. Sistemin Şeması ve Yerleştirme Planı	28
3.9. Kalibrasyon	32
4. SONUÇ	33
KAYNAKLAR	34
ÖZGEÇMİŞ	35

1. GİRİŞ

1.1. Tanıtım

Bu çalışmada 'Nükleer Reaktör Enstrümantasyonu için Enerji Sayacı Tasarımı' konusu ele alınmış, Çekmece Nükleer Araştırma ve Eğitim Merkezinde bulunan TR-2 Araştırma Reaktörü için bir elektronik Kilowatt-saat-metre (KWsm) devresi gerçekleştirilmiştir.

Devrenin, kontrol odasında bulunan ve reaktör gücünün hassas bir şekilde ölçüldüğü Lineer N-16 güç ölçme kanalının 0-10V gerilim çıkışından alınan işaretlerle sürülmesi tasarlanmıştır.

Sistemin çalışma prensibi temel olarak, N-16 çıkışındaki, reaktörde üretilen güçle lineer orantılı olan 0-10V'luk gerilimin zamana bağlı integralinin (enerji) alınması ve bu değerın Megawattsaat (MWs) ile Megawattgün (MWg) birimlerine çevrilerek birer gösterge takımında gösterilmesi şeklindedir. Bunların mekanik tipten seçilmeleri ile elektrik kesilmelerine karşı koruma ve elektronik benzerlerine göre sadelik sağlanmıştır.

Çalışmanın ikinci bölümünde, tez çalışmasının yapıldığı ÇNAEM'deki reaktörün enstrümantasyonunda kullanılan güç ölçme sistemleri karakteristik özellikleriyle tanıtılmıştır. Üçüncü bölümde geliştirilen sistemin çalışma prensibi, temel ve alt yapıları ayrıntılı olarak açıklanarak devre şemaları verilmiş, dördüncü bölümde ise tezde elde edilen sonuçlar özetlenmiştir.

1.2. CNAEM TR-2 Reaktörü

Nükleer alanda ülkemizin ilk araştırma kuruluşu olan 1 MW gücündeki TR-1 Reaktörü 1959-1962 yılları arasında inşa edilmiştir. 1977 yılına kadar sürekli olarak 15 yıl çalıştırılan reaktör Türkiye'de nükleer alandaki gelişmeler nedeniyle yetersiz kalmaya başlamış ve aynı bina içinde TR-2 adı verilen, 5 MW gücünde yeni bir reaktörün inşasına karar verilmiştir. 1974 yılında projelendirilen TR-2'nin yapımına 1976 yılında başlanmış ve 1981 yılına kadar sürmüştür. Bundan sonra deneme işletmelerine geçilmiş ve 1984 yılından itibaren izotop ışınlamalarına başlanmıştır.

TR-2 reaktörü açık havuz tipinde, termik nötronlarla çalışan, zenginleştirilmiş uranyum yakıt elemanlı, su soğutmalı, yavaşlatıcılı ve yansıtıcılıdır. Reaktörde kalp yükleme periyodu ortalama 150 MW Gün'dür (5 MW'ta 30 gün x 24 saat). Kumanda odasında radyasyon ölçme cihazları, soğutma devresinin sıcaklık, debi ve basınç göstergeleri, nötron güç ve periyot göstergeleri, kontrol çubuklarının hareket göstergeleri, ışıklı ve sesli alarmlar ve bunların yönetimi ile ilgili tüm mantık devreleri bulunmaktadır.

2. ENSTRÜMANTASYON İÇİN GÜÇ ÖLÇÜMÜ VE ENERJİ HESABI

2.1. Güç Ölçme Kanalları

TR-2 Reaktörü tipindeki reaktörlerde, güvenli bir şekilde kontrol ve kumandayı sağlayabilmek için, reaktörün kaynak seviyesinden maksimum güç seviyesine kadar olan bir aralıkta, sağlıklı bir şekilde nötronik ölçmelerin yapılması gerekmektedir.

Bu amaçla nötronik ölçmelerde, reaktör gücünü geniş bir aralıkta izleyebilmek için gücün logaritmik olarak ölçüldüğü 'Logaritmik Güç' ölçme kanalı ve buna bağlı olarak gücün artış hızı ile ilgili bilginin alındığı 'Periyot' ölçme kanalı, yüksek güç düzeylerinde reaktör gücünün hassas bir şekilde ölçüldüğü 'Lineer Güç' ölçme kanalı bulunmaktadır. Ayrıca reaktörün termohidrolik açıdan güvenliği ve güç kalibrasyonu için 'Isıl Güç' ölçümü yapılmaktadır (Şekil 2.1.).

2.1.1. Logaritmik Güç ve Periyot Ölçme Kanalları

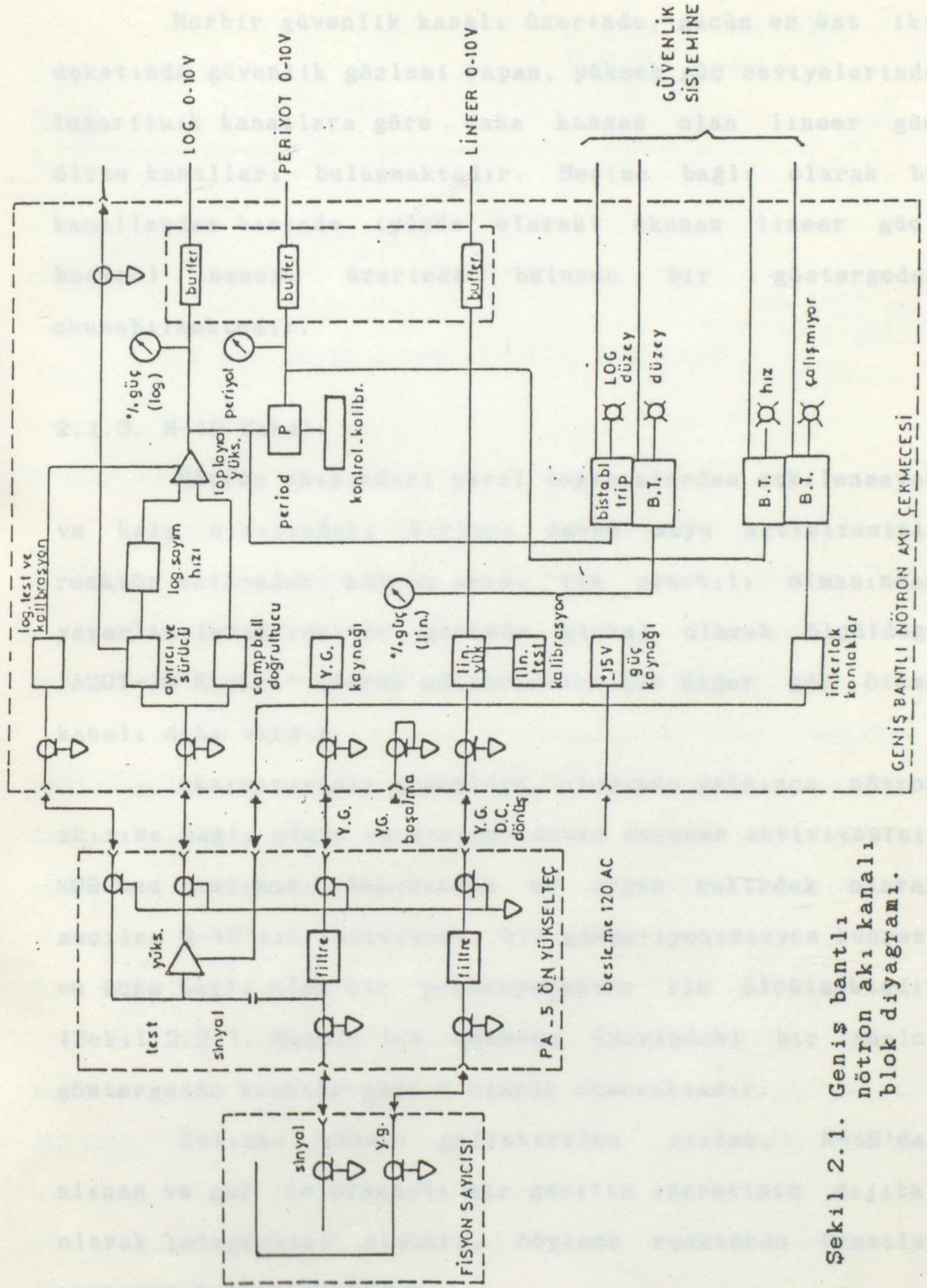
Herbir güvenlik kanalı üzerinde birer tane olmak üzere üç adet logaritmik güç ölçme kanalı vardır. Bunlar 2 nV den itibaren 10 dekatlık bir ölçme aralığında reaktörde güvenlik gözlemi yapmaktadırlar. Bu kanallar ile bağlantılı olan üç adet periyot ölçme kanalında, logaritmik kanallardan elde edilen güç sinyali bir türev alma devresinden geçirilerek, reaktör gücünün artış hızı ile ilgili olan periyot bilgisi elde edilmektedir.

LOG 0-10 V

ERİYOT 0-10 V

LİNER 0-10 V

GÜVENLİK SİSTEMİNE



2.1.2. Lineer Güç Ölçme Kanalları

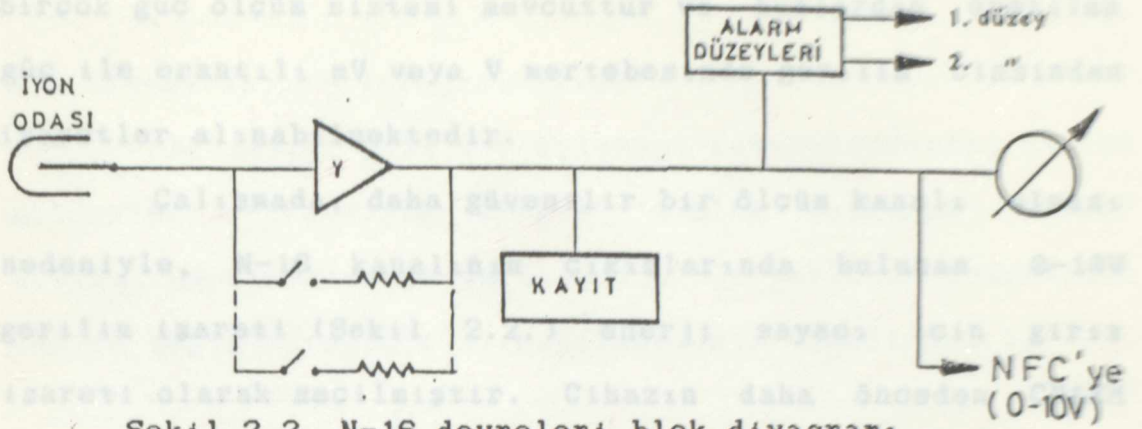
Herbir güvenlik kanalı üzerinde, gücün en üst iki dekatında güvenlik gözlemi yapan, yüksek güç seviyelerinde logaritmik kanallara göre daha hassas olan lineer güç ölçme kanalları bulunmaktadır. Seçime bağlı olarak bu kanallardan birinde (yüzde olarak) okunan lineer güç, kontrol masası üzerinde bulunan bir göstergeden okunabilmektedir.

2.1.3. N-16 Kanalı

Nötron akışındaki yerel değişimlerden etkilenmeyen ve kalp çıkışındaki birinci devre suyu aktivitesinin reaktör kalbindeki nötron akısı ile orantılı olmasından yararlanılarak reaktör gücünün global olarak ölçüldüğü 'AZOT-16 Kanalı' olarak adlandırılan bir diğer güç ölçme kanalı daha vardır.

Aktivitesinin uygunluğu, oluşumun yalnızca nötron akısına bağlı oluşu ve birinci devre suyunun aktivitesinin %99 unu taşıması bakımından en uygun çekirdek olarak seçilen N-16'nın aktivitesi, bir gamma-iyonizasyon hücresi ve buna bağlı olan bir pikoampermetre ile ölçülmektedir (Şekil 2.2.). Kanala ait çekmece üzerindeki bir analog göstergeden reaktör gücü % olarak okunmaktadır.

Çalışma sonucu geliştirilen sistem, N-16'dan alınan ve güç ile orantılı bir gerilim işaretinin dijital olarak integralini almakta, böylece reaktörde üretilen enerjiyi hesaplamaktadır.



Şekil 2.2. N-16 devreleri blok diyagramı.

2.1.4. Isıl Güç Kanalı

Kalp çıkış ve giriş suyu sıcaklıkları ölçülerek aralarındaki sıcaklık farkı ve birinci devre debisi 'Q' kullanılarak, 'Pth' ısııl güç bir hesaplayıcı tarafından belirlenmektedir. Bu sistemin duyarlılığı %3 civarındadır.

Isıl güç, kontrol panosundaki bir sayısal göstergede kW cinsinden, ayrıca ısııl güç kanalı üzerinde bulunan diğer bir göstergeden 0-6 MW aralığında izlenebilmektedir.

2.2. Enerji Hesabı

Daha önce 2.1.3.'te de belirtildiği gibi, çalışmada reaktör enstrümantasyonu için bir enerji sayacı geliştirilmiştir. Enerji, gücün belli bir zaman aralığında integrasyonu olduğundan sistemin giriş işareti aşıkarak olarak reaktörde üretilen güç (veya onunla dogrusal orantılı bir işaret) olacaktır.

TR-2 reaktörü'nde Bölüm 2'de açıklandığı gibi birçok güç ölçüm sistemi mevcuttur ve bunlardan üretilen güç ile orantılı mV veya V mertebesinde gerilim cinsinden işaretler alınabilmektedir.

Çalışmada, daha güvenilir bir ölçüm kanalı olması nedeniyle, N-16 kanalının çıkışlarında bulunan 0-10V gerilim işareti (Şekil 2.2.) enerji sayacı için giriş işareti olarak seçilmiştir. Cihazın daha önceden ÇNAEM tarafından yapılmış olan kalibrasyonuna göre N-16'dan nominal P=5MW'lık güçte U=5V'luk bir DC işaret elde edilmektedir.

Böylece reaktörde üretilen güç ile bu işaret arasında:

$$P = k \times U ; P: MW , U: V , k: 1 MW/V$$

bağıntısı bulunmaktadır. Buradan belli bir zaman aralığında üretilen enerjiyi hesaplamak için gücün bu zaman üzerinde integralini almak yeterlidir. Enerji için:

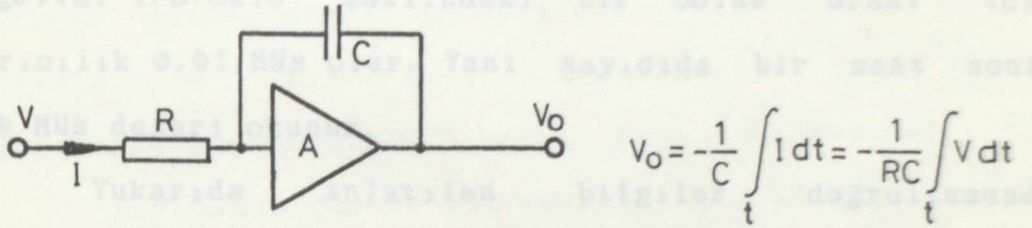
$$W = \int_t P \times dt = \int_t k \times U \times dt = k \times \int_t U \times dt ; W: MWs, t: s$$

yazılabilir. Bağıntıdan açıkça anlaşılabileceği gibi U geriliminin herhangi bir yöntemle (analog veya dijital) integralinin alınması sonucu elde edilen işaret doğrudan MWs cinsinden enerjiyi verecektir.

3. GELİŞTİRİLEN SİSTEMİN YAPISI

3.1. Temel Yapı - integral Alıcı

Bilindiği gibi bir işlemsel kuvvetlendirici ve RC elemanları yardımıyla klasik 'Analog integral Alıcı' devresi kurulabilmekte ve bu yolla bir gerilim işaretinin zamana bağlı integrali alınabilmektedir (Şekil 3.1.).



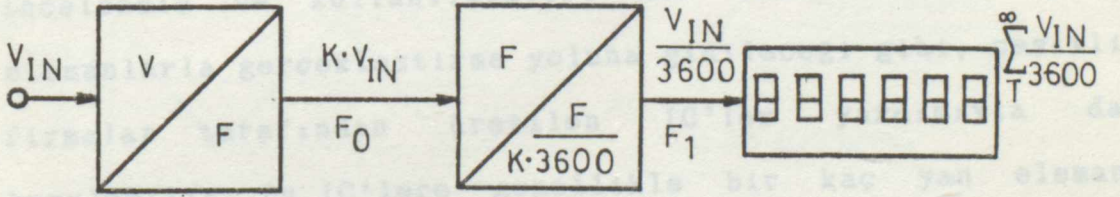
Şekil 3.1. Analog integral alıcı devresi.

Çalışmada tutulan yol ise, gerilim olan giriş işaretini yüksek doğruluklu bir gerilim-frekans çevirici (VFC: Voltage-to-Frequency Converter) yardımıyla frekansı girişteki işaret genliği ile doğru orantılı sayma vurularına çevirmek ve bu darbeleri bir sayıcı yardımıyla saymak şeklindedir.

Bu şekilde belli ölçme periyotları sonunda sayıcıda okunan değer o periyot süresince gelen darbe sayısını, dolayısıyla VFC girişindeki gerilimle orantılı bir değeri gösterecektir. Örneğin $V_{IN}=5V$ ($P=5MW$) için VFC çıkışında saniyede n darbe ($f_0=n$ Hz). oluşuyorsa bir saat sonra sayıcıda $3600 \times n$ değeri okunacaktır. n VFC'nin gerilim-frekans transfer oranına (kazancına) bağlıdır ve bu oran $K = n / 5$ (Hz/V) birimindedir.

Oysa sayıcıda okunmak istenen değer 5 MWS olduğu için VFC çıkışına bir $5 / (3600 \times n) = 1 / (3600 \times K)$ bölücü konulmalıdır. Bölme oranını tam sayı yaparak bölücüyü basitleştirmek için K değerinin tamsayı seçilmesi gerekmektedir. Örneğin $K=1000$ seçilirse bölme oranı $1/3.6 \times 10^3$, sayıcıdaki en az anlamlı dijitin birimi ise 1 MWS olur. Bölme oranı düşürüldükçe hassasiyet artar. Sözgelimi $1/3.6 \times 10^4$ şeklindeki bir bölme oranı için ayıricılık 0.01 MWS olur. Yani sayıcıda bir saat sonra 5.00 MWS değeri okunur.

Yukarıda anlatılan bilgiler doğrultusunda oluşturulan sistemin blok diyagramı Şekil 3.2.'de verilmiştir.



Şekil 3.2. Sistemin temel yapısı.



3.2. Gerilim Frekans Çeviricileri

VFC devreleri bilindiği gibi frekansı girişine uygulanan gerilimle orantılı işaret üreten osilatörlerdir. Genel olarak iki grup VFC'den söz edilebilir.

Birinci gurup VFC devrelerinde çıkış frekansı bir merkez frekansı etrafında değiştirilir ve genellikle FM modülasyonu, sinyal, fonksiyon ve ton üretimi ile FSK (Frequency Shift Keying) amacıyla kullanılırlar.

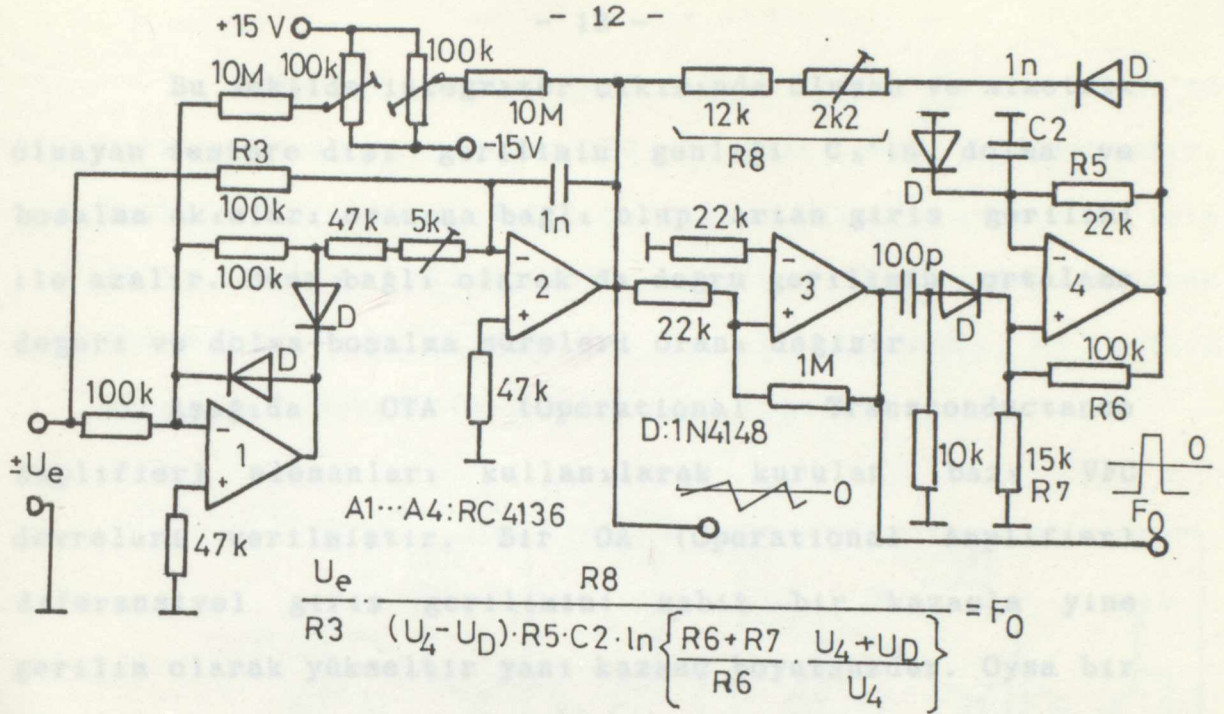
ikinci grupta ise giriş gerilimi sıfır iken çıkış frekansı sıfır, ve giriş gerilimi sıfırdan maksimum değerine kadar değiştirildiğinde (ideal olarak) çıkış frekansı daima giriş geriliminin bir sabitle çarpımı kadardır. Bu sabit 'Hz/V' boyutundadır ve VFC'nin gerilim-frekans transfer oranı veya kazancıdır (K).

Enstrümantasyon, A/D çeviriciler, ui uygulamaları, RMS çeviriciler, PLL devreleri, tıbbi izolasyon, ısı algılama ve kontrolü, sayısal panel metreler hep bu gruptaki VFC'lerin uygulamaları arasına girer.

Çalışmada sadece ikinci guruba giren VFC'ler incelenmiş ve kullanılmıştır. Bir VFC devresi ayırık elemanlarla gerçekleştirme yoluna gidileceği gibi, çeşitli firmalar tarafından üretilen IC'ler yardımıyla da kurulabilir. Bu IC'lere genellikle bir kaç yan eleman bağlanması gerekmektedir. Aşağıdaki bölümde bu iki grup için bazı örnek devreler verilmiştir.

3.2.1. Çeşitli VFC Devreleri

Şekil 3.3.'te tipik eleman değerleri ile verilen ve 'Single Rail veya Üçgen/Kare Dalga VFC' şeklinde anılan devrede A_1 işlemsel kuvvetlendiricisi, R_1 ve R_2 gerilim bölücüsünün oluşturduğu gerilimi TR_1 kesimde ise



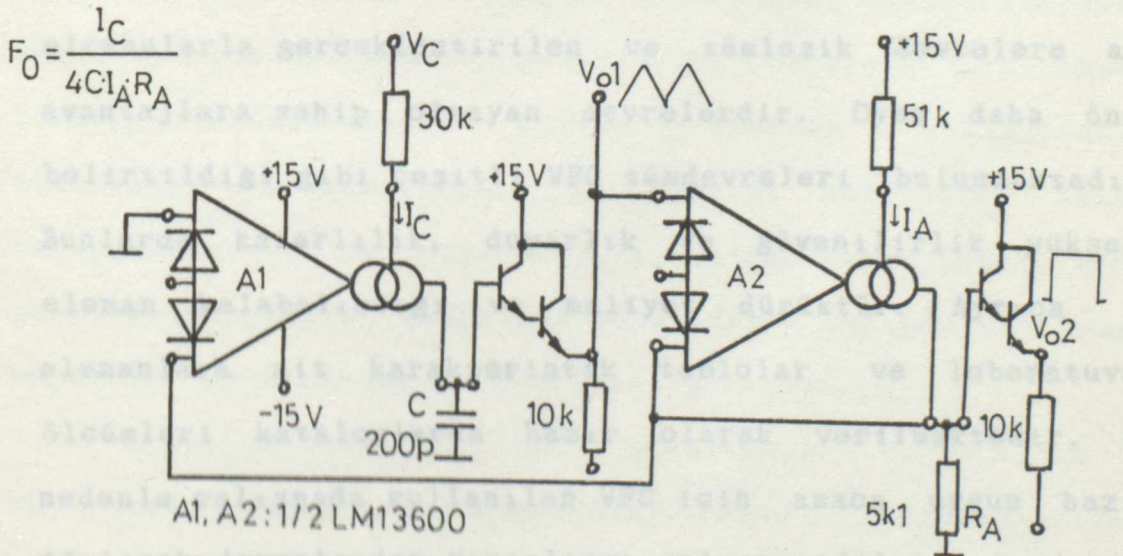
Sekil 3.4. Bipolar karakteristikli üçgen-kare dalga VFC.

Devrede A_1 işlemsel kuvvetlendiricisi, $R_1 \dots R_4$ dirençleri ve iki diyot ile birlikte tam dalga doğrultucu olarak görev yapmakta, iki polariteli (+/-) giriş gerilimini negatif bir çıkış akımına (I_{M1}) dönüştürmektedir. Bu akım ise integratör olarak çalışan A_2 'nin çıkış geriliminin lineer olarak yükselmesine yol açar. Pozitif geribeslemeli ve Schmitt tetikleyicisi fonksiyonundaki A_3 'ün girişine uygulanan bu gerilimin, tetikleyicinin konum değiştirmesi için gerekli eşiği aşması ile A_3 'ün çıkışı U_{max+} değerine sıçrar. Bu yükselen kenardan alınan türev ile A_4 ile oluşturulan tek kararlı ikili devre tetiklenir. A_4 çıkışı lojik 1 olduğu süre boyunca ise I_{M1} , I_{M2} akımlarının farkı ile C_1 , dolayısıyla integratör boşalır.

Bu şekilde integratör çıkışında oluşan ve simetrik olmayan testere dişi gerilimin genliği C_1 'in dolma ve boşalma akımları oranına bağlı olup, artan giriş gerilimi ile azalır. Buna bağlı olarak da doğru gerilimin ortalama değeri ve dolma-boşalma süreleri oranı değişir.

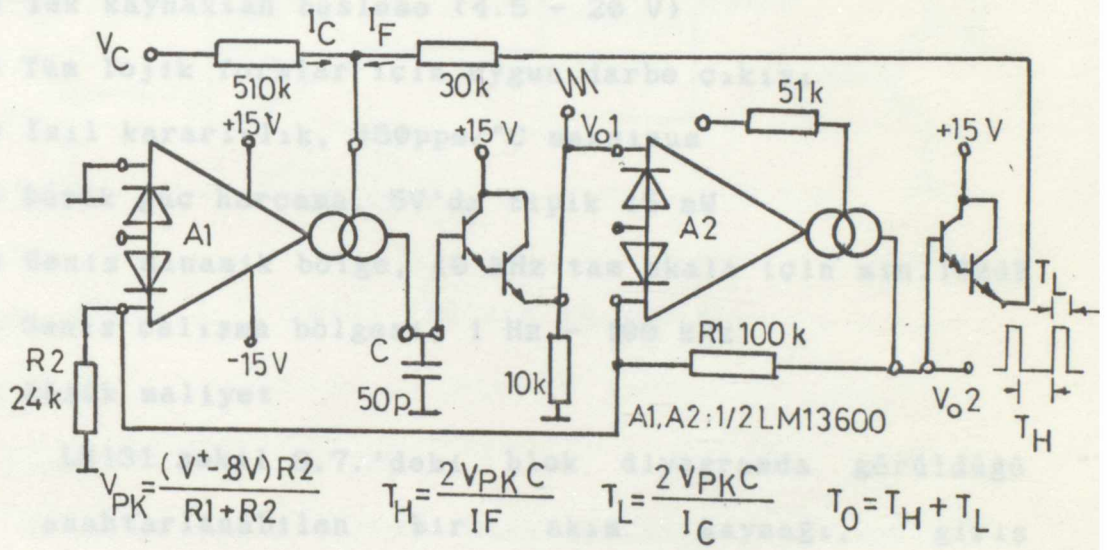
Aşağıda OTA (Operational Transconductance Amplifier) elemanları kullanılarak kurulan bazı VFC devreleri verilmiştir. Bir OA (Operational Amplifier) diferansiyel giriş gerilimini sabit bir kazaçla yine gerilim olarak yükseltir yani kazanç boyutsuzdur. Oysa bir OTA'da giriş yine diferansiyel gerilim iken çıkış akımdır. Böylece kazanç iletkenlik boyutundadır.

Sekil 3.5.'de klasik üçgen/kare dalga VFC yapısının OTA elemanlarına uyarlanmış devresi verilmiştir. Devre I_C giriş akımının $10nA$ ile $1mA$ arasında değişiminde $2 Hz$ ile $200 kHz$ arasında sinyal üretmektedir. Çıkış genliği $I_A \times R_A$ ile belirlenir.



Sekil 3.5. OTA'larla kurulan VFC devresi.

Yapılan birkaç değişiklik ile Şekil 3.5.'te verilmiş olan rampa/vuru VFC devresi elde edilmektedir. Devrede V_{O2} H iken, A_1 'in kutuplama akımını arttırmak için I_C 'ye I_F akımı eklenmiştir. Böylece C kondansatörünün dolma oranı arttırılmıştır. V_{O2} L olduğunda I_F sıfıra düşer ve kondansatör I_C akımıyla boşalır.



Şekil 3.6. Rampa/vuru VFC devresi.

Yukarıda verilen devrelerin hepsi de ayırık elemanlarla gerçekleştirilen ve tümleşik devrelere ait avantajlara sahip olmayan devrelerdir. Oysa daha önce belirtildiği gibi çeşitli VFC tümdevreleri bulunmaktadır. Bunlarda kararlılık, duyarlık ve güvenilirlik yüksek, eleman kalabalıklığı ve maliyet düşüktür. Ayrıca bu elemanlara ait karakteristik tablolar ve laboratuvar ölçümleri kataloglarda hazır olarak verilmektedir. Bu nedenle çalışmada kullanılan VFC için amaca uygun hazır tümleşik devrelerden yararlanma yoluna gidilmiştir.

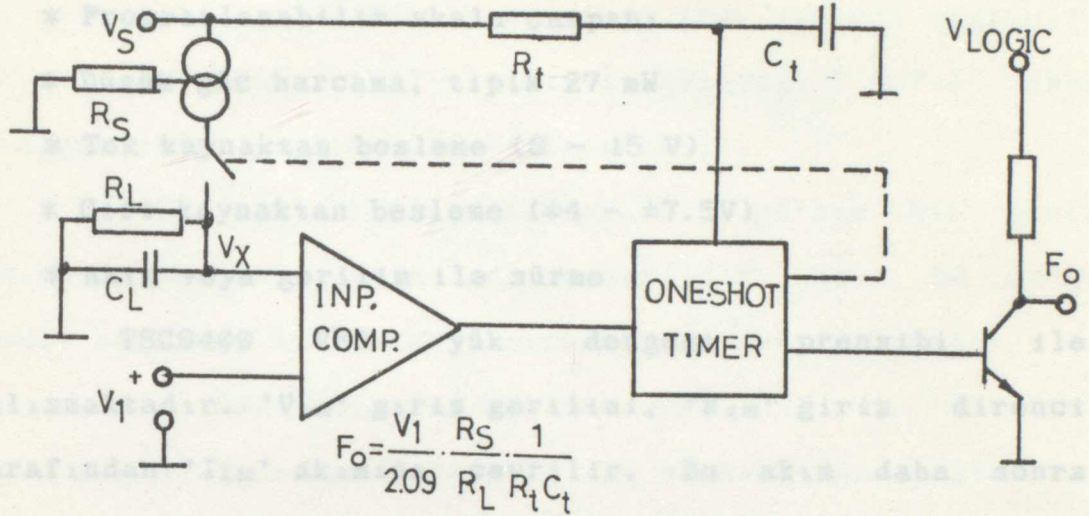
National Semiconductor tarafından üretilen LM131/LM231/LM331 VFC ailesi bu tip tümdevrelerden biridir. Başlıca özellikleri şunlardır:

- * Maksimum 0.01% lineerlik
- * Tüm VCF uygulamaları için kanıtlanmış performans
- * Tek veya çift kaynaktan besleme
- * Tek kaynaktan besleme (4.5 - 20 V)
- * Tüm lojik formlar için uygun darbe çıkışı
- * Isıl kararlılık, $\pm 50 \text{ppm}/^\circ\text{C}$ maksimum
- * Düşük güç harcama, 5V'da tipik 15 mW
- * Geniş dinamik bölge, 10 KHz tam skala için min. 100dB
- * Geniş çalışma bölgesi, 1 Hz - 100 kHz
- * Düşük maliyet

LM131 şekil 3.7.'deki blok diyagramda görüldüğü gibi anahtarlanabilen bir akım kaynağı, giriş karşılaştırıcısı ve tek-atım zamanlayıcıdan oluşmaktadır. Gerilim karşılaştırıcı V_1 pozitif gerilimi ile V_x gerilimini karşılaştırır, eğer V_1 büyükse karşılaştırıcı zamanlayıcıyı tetikler ve $t = 1.1 \times R_x \times C_x$ periyodu ile akım kaynağı anahtarlanır, ayrıca frekans çıkışındaki tranzistor iletime geçer. Bu periyot süresince akım kaynağından i akımı geçer ve V_x 'i, V_1 'den daha yüksek bir gerilime ulaştırır. Zamanlama periyodunun sonunda i akımı kapatılır ve zamanlayıcı kendisini sıfırlar.

Bu durumda C_L , R_L tarafından V_x , V_1 'in seviyesine gelene kadar boşaltılır. Sonra karşılaştırıcı zamanlayıcıyı yeniden tetikler ve yeni bir çevrimi

başlatır. Böylece çıkışta, V_1 giriş gerilimiyle orantılı bir frekansta işaret elde edilir.



Sekil 3.7. LM131 VFC'nin iç yapısı.

3.3. Sistemde kullanılan VFC

Geliştirilen sistemde karakteristik değerlerinin benzerleri arasında daha iyi olması nedeniyle Teledyne Semiconductor firması tarafından üretilen TSC9400/9401/9402 serisi VFC'lerden TSC9401 kullanılmıştır. Aşağıda tümdevrenin başlıca özellikleri verilmiştir:

* 1 Hz - 100 KHz çalışma aralığı

* Seçime bağlı olarak garanti edilmiş lineerlik:

- TSC9401 0.01%

- TSC9400 0.05%

- TSC9402 0.25%

* Isıl kararlılık, ± 25 ppm/ $^{\circ}\text{C}$ tipik

* Açık kollektör çıkışı

- * Çıkış her tipten lojik ile uyumlu
- * Darbe ve kare dalga çıkışı
- * Programlanabilir skala çarpanı
- * Düşük güç harcama, tipik 27 mW
- * Tek kaynaktan besleme (8 - 15 V)
- * Çift kaynaktan besleme (± 4 - $\pm 7.5V$)
- * Akım veya gerilim ile sürme

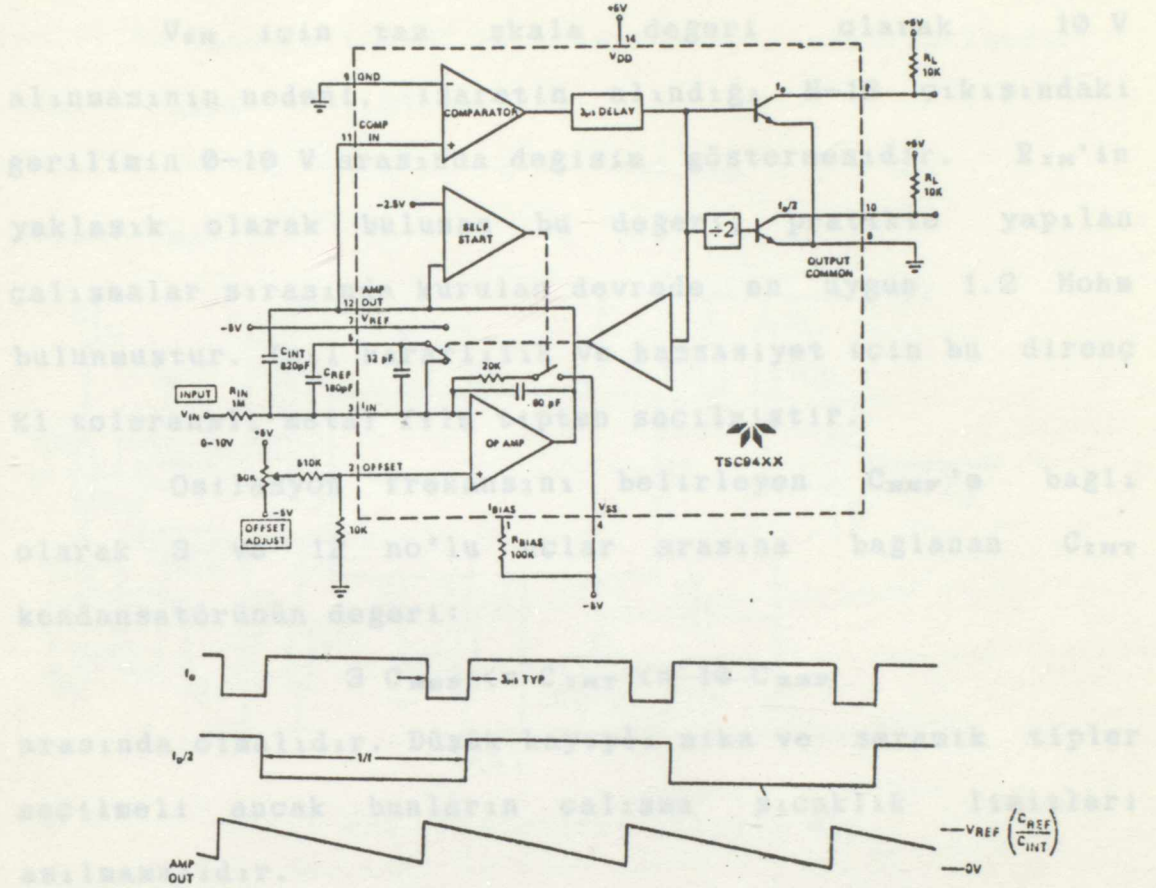
TSC9400 VFC yük dengesi prensibi ile çalışmaktadır. ' V_{IN} ' giriş gerilimi, ' R_{IN} ' giriş direnci tarafından ' I_{IN} ' akımına çevrilir. Bu akım daha sonra integratör kondansatörü tarafından yüke çevrilir ve opamp çıkışında lineer olarak yükselen bir gerilim oluşur. Karşılaştırmacı tarafından çıkışın sıfırdan geçişinin algılanması, referans kondansatörüne uygulanan referans geriliminin, kondansatöre bu gerilime kadar doldurmaya yetecek bir süre uygulanmasını sağlar. Bu olay integratör kondansatörü üzerindeki yükü belli bir miktar ($q = C_{REF} \times V_{REF}$) azaltırken, opamp çıkışını bir miktar arttırır.

Doldurma periyodu sonunda, C_{REF} üzerinde saklı bulunan referans yükü boşaltılır ve çıkış yine sıfırdan geçer. Böylece integratör kondansatörü, sürekli olarak referans geriliminden sabit yükler alan giriş tarafından dengeli olarak boşaltılır. Giriş geriliminin yükselmesiyle dengeyi sağlamak için gerekli olan darbe sayısı da artar. Böylece çıkış frekansı giriş gerilimiyle orantılı olarak artar.

TSC9401 14-Pin DIP kılıfındadır ve pin fonksiyonları şu şekildedir:

- (1) I_{BIAS} : $82k \leq R_{BIAS} \leq 120k$ direnci bağlanır.
- (2) ZERO ADJUST : Giriş gerilimi sıfır iken çıkışın sıfır yapılmasını sağlamaktadır.
- (3) I_{IN} : Akım giriş ucudur. $10 \mu A$ 'lık bir giriş akımı nominal tam skala için yeterlidir ancak $50 \mu A$ 'ya kadar herhangi bir sorun yaratmaksızın arttırılabilir.
- (4) V_{SS} : Negatif besleme ucu.
- (5) $V_{REF OUT}$: Bu uçla I_{IN} arasına C_{REF} bağlanır.
- (6) GND : Toprak ucu.
- (7) V_{REF} : V_{SS} veya hassas bir kaynaktan buraya uygulanan referans gerilimi kazancın üzerinde etkilidir.
- (8) PULSE FREQ. OUT : Darbe çıkışı. Bir pull up direnci ile MOS, CMOS ve TTL lojigine bağlanabilir.
- (9) OUTPUT COMMON : Frekans çıkışlarındaki tranzistorların emetörleri bağlıdır.
- (10) FREQ/2 OUT : Darbe çıkışındaki darbelerin yarı frekansındaki kare dalga taşıyan çıkıştır.
- (11) COMPARATOR IN : VFC modunda bu uç 12 nolu opamp çıkışına bağlanır.
- (12) AMPLIFIER OUT : Düşen rampa sinyal ucudur.
- (13) N.C. : Boş.
- (14) V_{DD} : Pozitif besleme ucudur.

Şekil 3.8.'de içyapısı verilen tümdevrenin V_{DD} ve V_{SS} kaynaklarından çektiği akım tipik olarak 2 mA ve -1.5 mA 'dir. Cevap süresi ise 2 çevrim'dir.



Şekil 3.8. 9401 VFC iç yapısı.

3.3.1. TSC9401 ile Yapılan VFC Tasarımı

Çıkış frekansı, analog giriş gerilimi (V_{IN}) ile aşağıdaki transfer eşitliği ile bağlıdır:

$$f_O = \frac{V_{IN}}{R_{IN} \cdot (V_{REF}) \times (C_{REF})} \times 1$$

R_{IN} direncinin değeri tüm skala girişinde I_{IN} 'in yaklaşık olarak 10 uA olacağı değerde seçilir:

$$R_{IN} = \frac{V_{IN \text{ Full-Scale}}}{10 \mu A}, \quad R_{IN} = \frac{10 V}{10 \mu A} = 1 \text{ Mohm}$$

V_{IN} için tam skala değeri olarak 10 V alınmasının nedeni, işaretin alındığı N-16 çıkışındaki gerilimin 0-10 V arasında değişim göstermesidir. R_{IN} 'in yaklaşık olarak bulunan bu değeri, pratikte yapılan çalışmalar sırasında kurulan devrede en uygun 1.2 Mohm bulunmuştur. Isıl kararlılık ve hassasiyet için bu direnç %1 toleranslı metal film tipten seçilmiştir.

Osilasyon frekansını belirleyen C_{REF} 'e bağlı olarak 3 ve 12 no'lu uçlar arasına bağlanan C_{INT} kondansatörünün değeri:

$$3 C_{REF} \leq C_{INT} \leq 10 C_{REF}$$

arasında olmalıdır. Düşük kayıplı mika ve seramik tipler seçilmeli ancak bunların çalışma sıcaklık limitleri aşılmamalıdır.

$V_{REF}-V_{SS}$ değeri için mutlak maksimum -1.5 V değeri verilmiştir. V_{REF} değeri çıkış frekansındaki formülde görüldüğünden ayarlanabilir yapılmış böylece kazancın (artma yönünde) değiştirilebilmesi sağlanmıştır.

Elde edilen bu veriler doğrultusunda Şekil 3.9.'deki VFC devresi kurulmuştur. Sistemin $\pm 5V$ simetrik besleme ile çalıştırılması düşünülmüştür. Referans gerilimi, -5 V V_{SS} geriliminden çok turlu bir trimpot ve bir dirençle oluşturulan bir gerilim bölücüyle sağlanmıştır. Gerilim:

$$11 \text{ k}$$

$$V_{SS} \leq V_{REF} \leq \frac{11 \text{ k}}{11 \text{ k} + 20 \text{ k}} \times V_{SS}$$

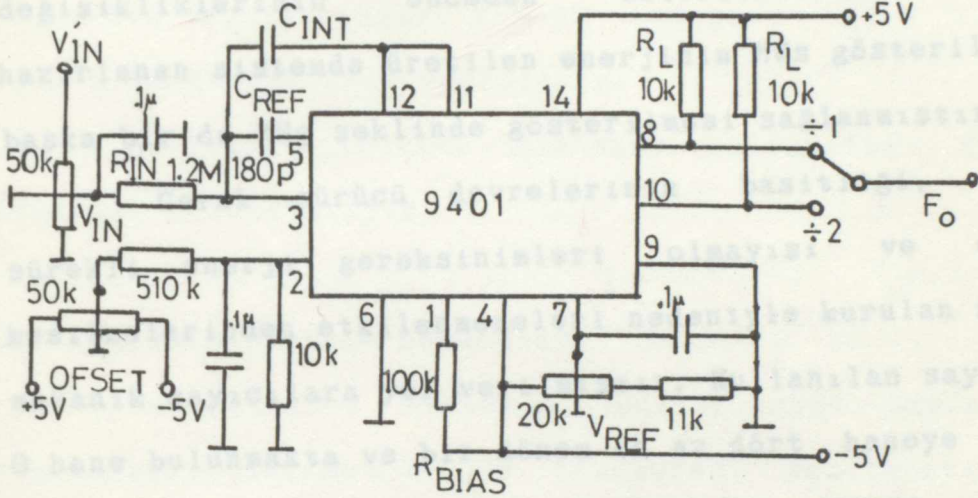
$$11 \text{ k} + 20 \text{ k}$$

$(-5 \text{ V}) \leq V_{REF} \leq (-1.67 \text{ V})$ arasında ayarlanabilmektedir.

$$f_{01} = \frac{V_{REF2}}{-1.67 \text{ V}} = 1$$

$$\frac{f_{01}}{f_{02}} = \frac{V_{REF2}}{V_{REF1}} = \frac{-1.67 \text{ V}}{-5 \text{ V}} = \frac{1}{3} \Rightarrow f_{02} = 3 \times f_{01}$$

$$f_{02} = \frac{V_{REF1}}{-5 \text{ V}} = 3$$



Şekil 3.9. Sistemdeki haliyle VFC.

Yukarıda çıkarılan bağıntıdan görüldüğü gibi V_{REF} ucuna -1.67 V uygulandığında elde edilen f_{02} frekansı, V_{REF} (-5 V) uygulandığında elde edilen frekansın üç katıdır ve yaklaşık olarak yarım dekatlık bir frekans bölgesi taranabilmektedir. Bu imkan ileride reaktör gücünün nominal değerinde değişiklik yapılabileceği ihtimali düşünülerek sağlanmıştır. Böyle bir durumda devrede hiçbir değişiklik yapmadan sadece kalibrasyon yenilenecektir.

Kullanılan VFC'de, f_0 frekansının nominal değeri için katalog verilerine göre lineerliğin en iyi olduğu 10 kHz değeri seçilmiştir. Bölüm 3.1.'de tanımı yapılan 'K' kazancı $K = 10 \text{ kHz} / 10 \text{ V} = 1 \text{ KHz} / \text{V}$ olarak bulunur.

$$f_0 = K \times V_{IN} = 1000 \times V_{IN} \text{ (Hz/V)}$$

3.4. Bölme Oranlarının Belirlenmesi

TR-2 reaktöründe kalp yükleme periyodu yaklaşık 150 MWg'dür (3600 MWs). İki değişim periyodu arasındaki bu döneme '1 Kalp Değişikliği Süresi' denilmektedir. Kalp değişikliklerinin önceden belirlenebilmesi için, hazırlanan sistemde üretilen enerjinin MWs gösteriliminden başka bir de MWg şeklinde gösterilmesi sağlanmıştır.

Gerek sürücü devrelerinin basitliği, gerekse sürekli enerji gereksinimleri olmayışı ve elektrik kesilmelerinden etkilenmemeleri nedeniyle kurulan sistemde mekanik sayıcılara yer verilmiştir. Kullanılan sayıcılarda 6 hane bulunmakta ve bir dönem en az dört haneye ihtiyaç gösterdiği için, ondalık hanesinden sonra 2 hane kalmaktadır. Böylece sistemde okunabilecek en küçük değer 0.01 MWs veya 10 kWs, taşma değeri ise 9999.99 MWs yani 10 GWs'dir. MWg birimi için MWs sinyalinin 24'e bölünmesi gerekir. Bu sayıcıda da okunabilecek en küçük değer 0.01 MWg veya 10 kWg, taşma değeri 9999.99 MWg yani 10 GWg'dür. Şekil 3.10.'da verilen tabloda bunlar özetlenmiştir.

B i R i M

SAYICI

OKUNAN EN KÜÇÜK DEĞER

D = Megawattsaat : ABCD.EF ; F = 10 Kilowattsaat

D = Megawattgün : ABCD.EF ; F = 10 Kilowattgün

Şekil 3.10. Sayıcıların hane düzeni ve ayırıcılığı.

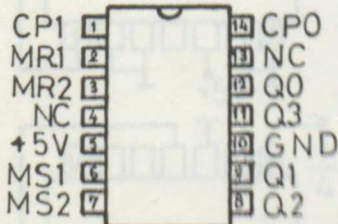
Bölüm 3.1.'de verilen örnekten yararlanarak, yukarıdaki ayırıcılığı elde etmek için gereken bölme

oranının 1/36000 olması gerektiği söylenebilir. Gerçekten $P=5$ MW nominal güçte $V_{IN}=5$ V, $f_0=5$ kHz ise bölücü çıkışında elde edilen işaretin frekansı $f_1=5000/36000=0.138$ Hz olur. 1 saat sonra sayıcıda $3600 \times f_1 = 500$ değeri okunur. $P=5$ MW olduğuna göre okunan değer 5.00 MW şeklinde yorumlanır.

Aşağıdaki bölümde sistemde kullanılan frekans bölücüler anlatılmıştır.

3.5. Sistemin Frekans Bölücüleri

Geliştirilen sistemde kullanılmak üzere TTL frekans bölücülerden 74LS90 tümdevresi seçilmiştir. Bu tümdevre ile 1/2 den 1/10'a kadar tüm bölme oranları elde edilebilmektedir. içyapısı ayrı ayrı da kullanılabilen bir 'ikiye bölücü' ve bir 'Beşe bölücü'den oluşur. Her iki bölücü de giriş işaretinin H'dan L'ye düştüğü kenarda tetiklenmektedir. Şekil 3.11.'de pin dizilimi ve kullanım tabloları verilen tümdevrenin MR1/MR2 'Master Reset', MS1/MS2 'Master Set' girişleriyle çıkışları belli lojik seviyelere çekilebilmekte ve bu şekilde istenilen bölme oranları elde edilebilmektedir.



Şekil 3.11.

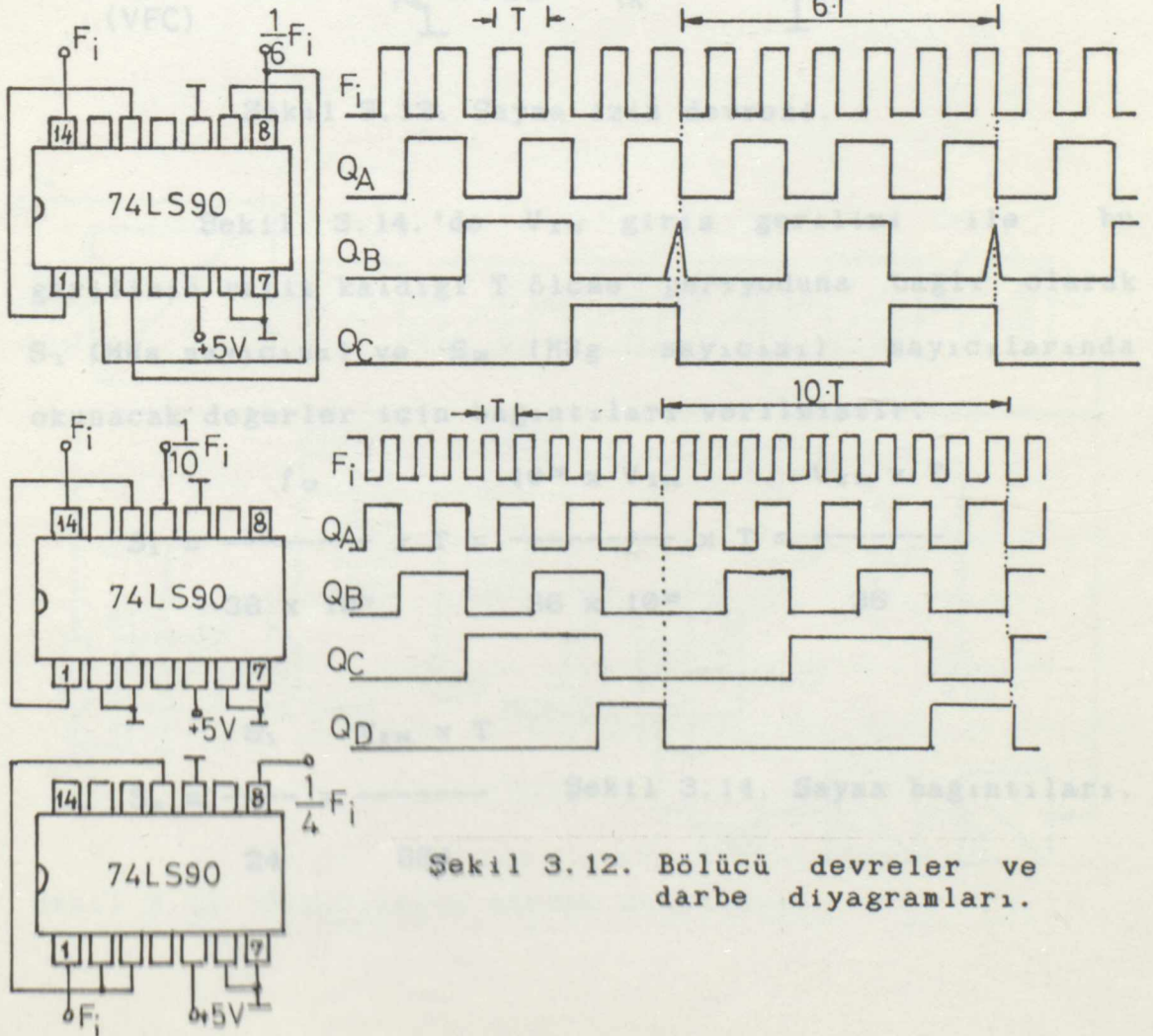
74LS90 Pin dizilimi ve kullanım tabloları.

SİLME/YAZMA				ÇIKIŞLAR			
MR1	MR2	MS1	MS2	Q0	Q1	Q2	Q3
H	H	L	X	L	L	L	L
H	H	X	L	L	L	L	L
X	X	H	H	H	L	L	H
X	L	X	L	SAYMA			
L	X	L	X				
L	X	X	L				
X	L	L	X				

Sistemde gereken 1/36000 ve 1/24 bölücüleri:

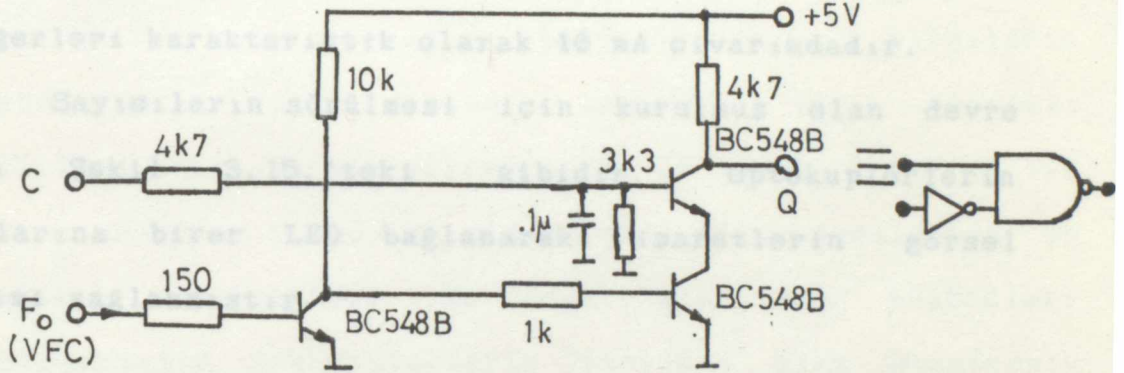
1	1	1	1	1	1	1	1	1								
-----	=	---	x	---	x	---	x	---	x	---	,	---	=	---	x	---
36000		6		6		10		10		10		24		6		4

şeklinde kaskat bağlı bölücülerle kurulmuştur. Bu durumda toplam 7 adet 74LS90 elemanı kullanılmıştır. 74LS90 tümdevresi maksimum 15 mA akım çekmektedir. Tümdevreleri beslemek için gereken toplam akım $7 \times 15 = 105$ mA'dır. Şekil 3.12.'de 4,6 ve 10'a bölücü devreleriyle darbe diyagramları verilmiştir.



Şekil 3.12. Bölücü devreler ve darbe diyagramları.

3.6. Sayı VFC'nin girişinde gerilim işareti olduğu halde sayıcıların sürülmemesinin gerektiği özel durumlar için VFC devresi ile bölücüler arasına tranzistörlerden oluşturulan bir NAND devresi yerleştirilmiştir (Şekil 3.13.). Devre çıkışı, 'C' girişi 'L' iken 'H'da kalmakta, bu giriş 'H' yapıldığında ise çıkışta f_o işareti bulunmaktadır.



Şekil 3.13. Sayma izin devresi.

Şekil 3.14.'de V_{IN} giriş gerilimi ile bu gerilimin sabit kaldığı T ölçme periyoduna bağlı olarak S_1 (MWs sayıcısı) ve S_2 (MWg sayıcısı) sayıcılarında okunacak değerler için bağıntıları verilmiştir.

$$S_1 = \frac{f_o}{36 \times 10^3} \times T = \frac{10^3 \times V_{IN}}{36 \times 10^3} \times T = \frac{V_{IN} \times T}{36}$$

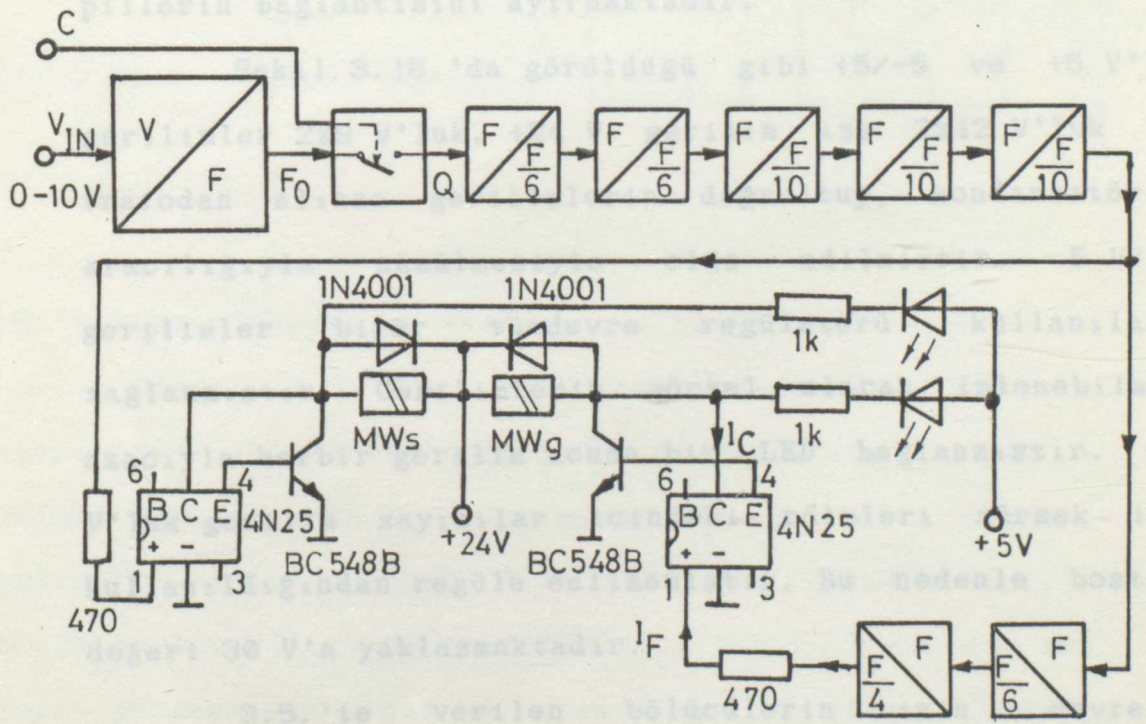
$$S_2 = \frac{S_1}{24} = \frac{V_{IN} \times T}{864}$$

Şekil 3.14. Sayma bağıntıları.

3.6. Sayıcıların Sürülmesi

Kullanılan mekanik sayıcılar 24 VDC gerilimle çalışmaktadırlar. VFC devresiyle elektriksel yalıtımı sağlamak amacıyla sayıcılara işaretler, 1/36000 ve 1/24 bölücü devrelerinin çıkışlarına bağlanan birer optokuplör elemanından geçirilerek verilmiştir. Kullanılan optokuplör elemanı DIP-6 kılıfındaki TFK 4N25'tir (Şekil 3.15.). I_F ve I_O değerleri karakteristik olarak 10 mA civarındadır.

Sayıcıların sürülmesi için kurulmuş olan devre yapısı Şekil 3.15.'teki gibidir. Optokuplörlerin çıkışlarına birer LED bağlanarak işaretlerin görsel izlenimi sağlanmıştır.



Şekil 3.15. Sayıcıların sürücü devreleri.

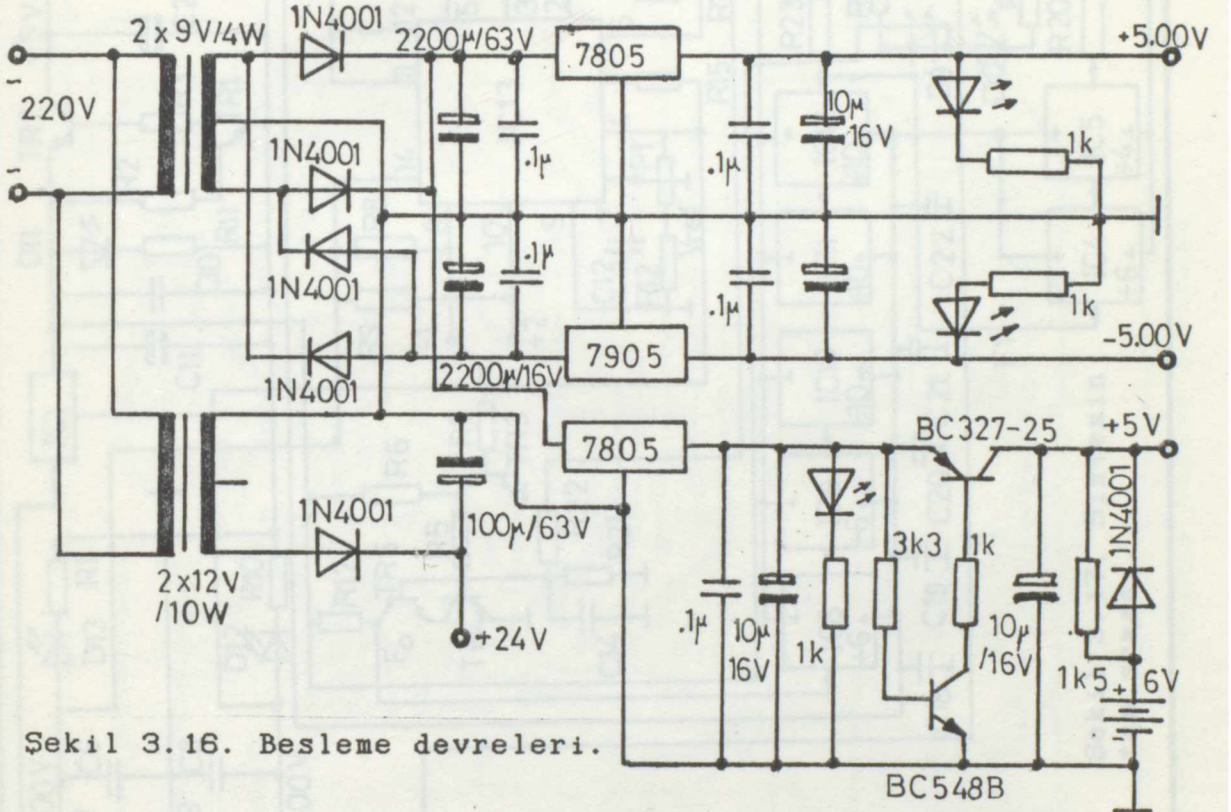
3.7. Besleme Devresi

Enerji sayacının besleme devresi, sistem için birbirinden bağımsız dört gerilim üretmektedir: VFC devresi için $+5/-5$ V, bölme devreleri için $+5$ V ve sayıcıların çalıştırılması için $+24$ V. VFC devresine gelen besleme geriliminin regülasyonu önemli olduğundan, bölücü devreler için ayrı bir besleme düşünülmüştür. Herhangi bir elektrik kesilmesinde bölücülerdeki bilgilerin kaybolmaması için sistem batarya ile destekli tasarlanmıştır. Normal çalışmada Ni-Cd aküler 1.5 k'lık dirençten geçen tanpon akımla sürekli dolu tutulmakta ve elektrik kesildiğinde ise diyot üzerinden bölücüleri beslemektedir. Tranzistorlarla yapılmış olan elektronik bir anahtar elektrik kesilmesinde besleme devresi ile pillerin bağlantısını ayırmaktadır.

Şekil 3.16.'da görüldüğü gibi $+5/-5$ ve $+5$ V'luk gerilimler 2×9 V'luk, $+24$ V gerilim ise 2×12 V'luk bir trafodan alınan gerilimlerin doğrultup, kondansatörler aracılığıyla süzülmesiyle elde edilmiştir. 5 V'luk gerilimler birer tümdevre regülatörü kullanılarak sağlanmıştır. Gerilimlerin görsel olarak izlenebilmesi amacıyla her bir gerilim ucuna bir LED bağlanmıştır. $+24$ V'luk gerilim sayıcılar içindeki röleleri sürmek için kullanıldığından regüle edilmemiştir. Bu nedenle boştaki değeri 30 V'a yaklaşmaktadır.

3.5.'te verilen bölücülerin izin devresi, tranzistorlu anahtarın giriş tarafından beslendiğinden,

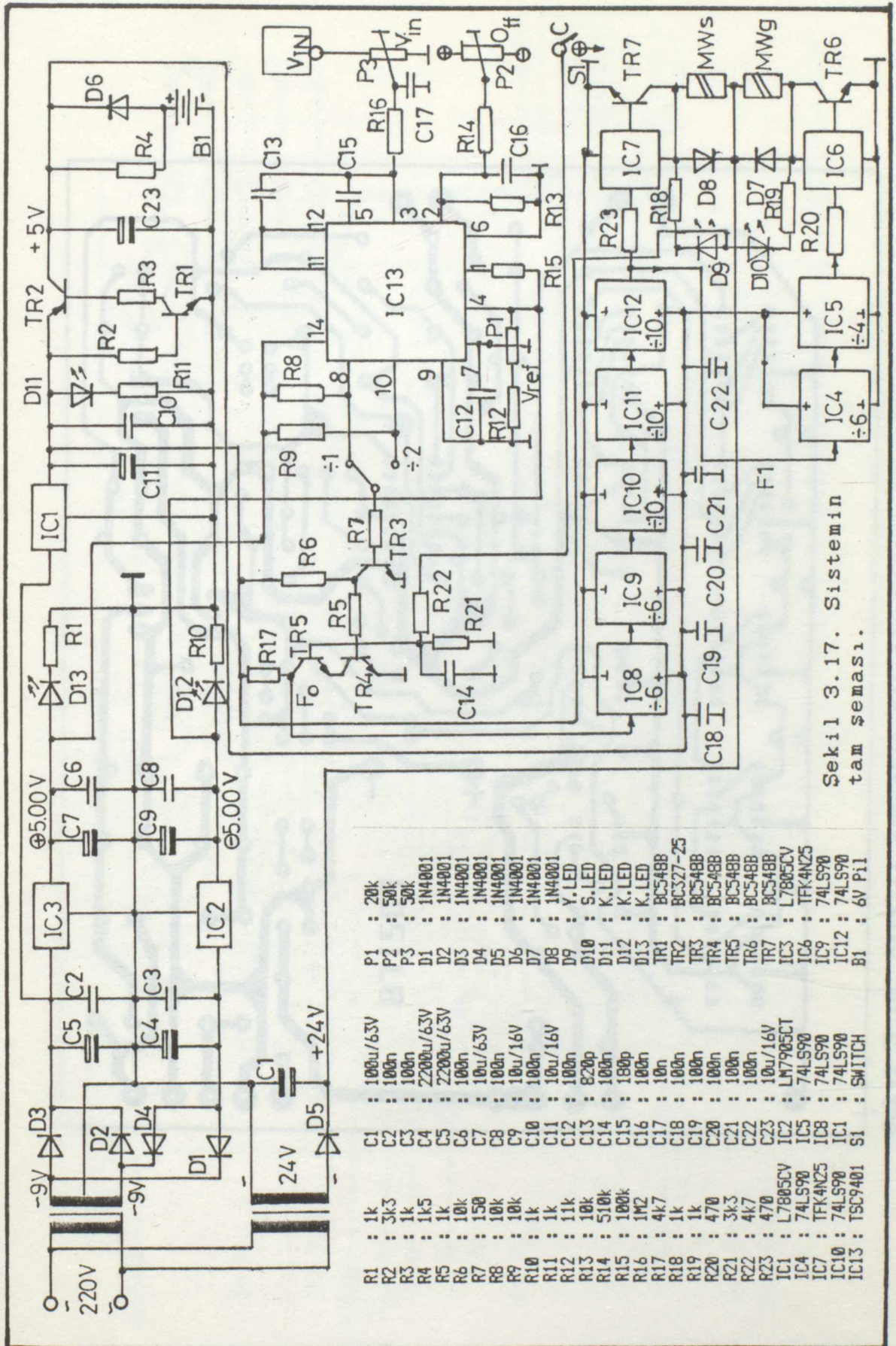
çalışma sırasında tranzistordan çekilen akımı sadece bölücü devreler, Ni-Cd pilin doldurulması ve LED'ler oluşturur. Bu akım 110 mA civarındadır.



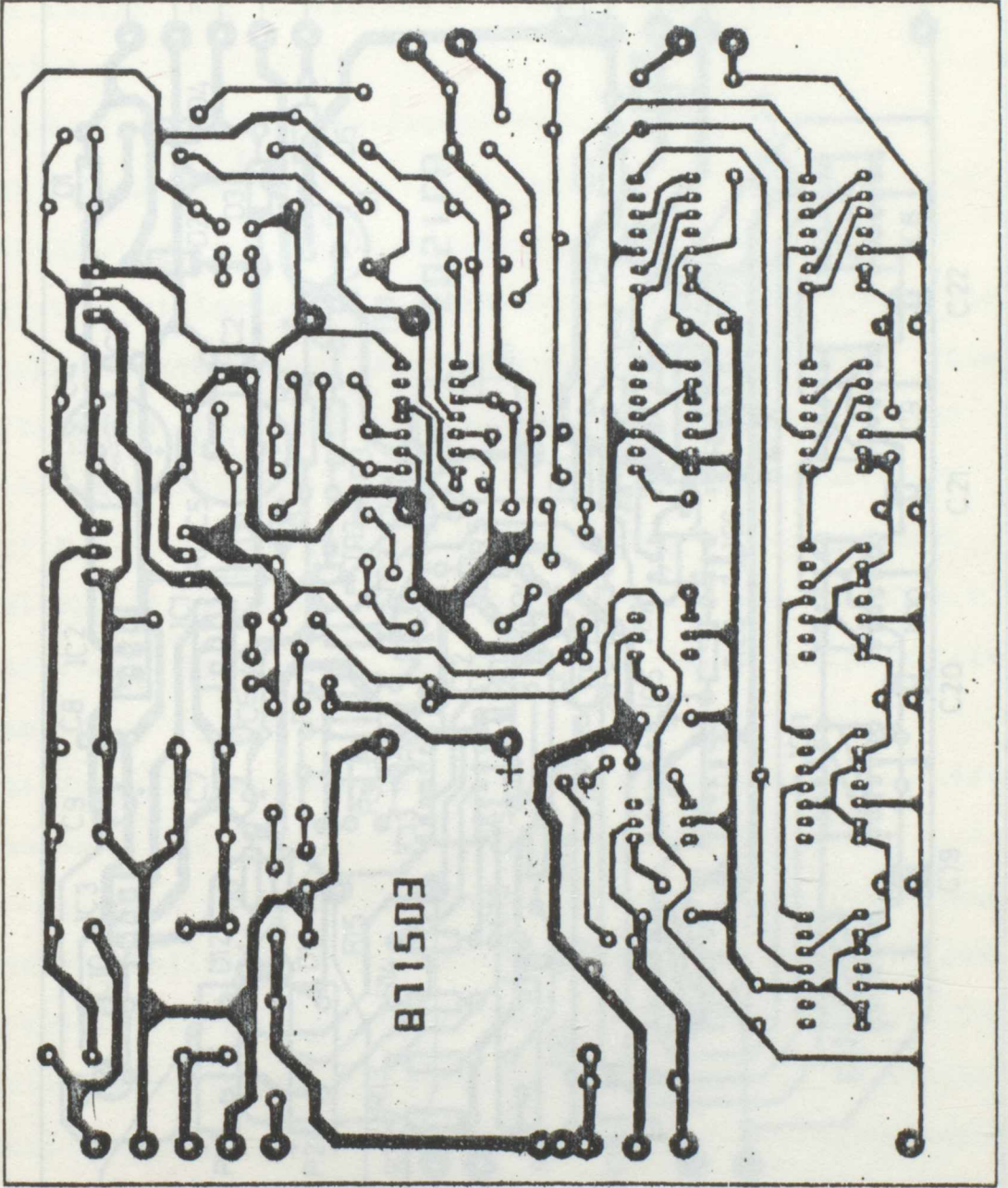
Şekil 3.16. Besleme devreleri.

3.8. Sistemin Şeması ve Yerleştirme Planı

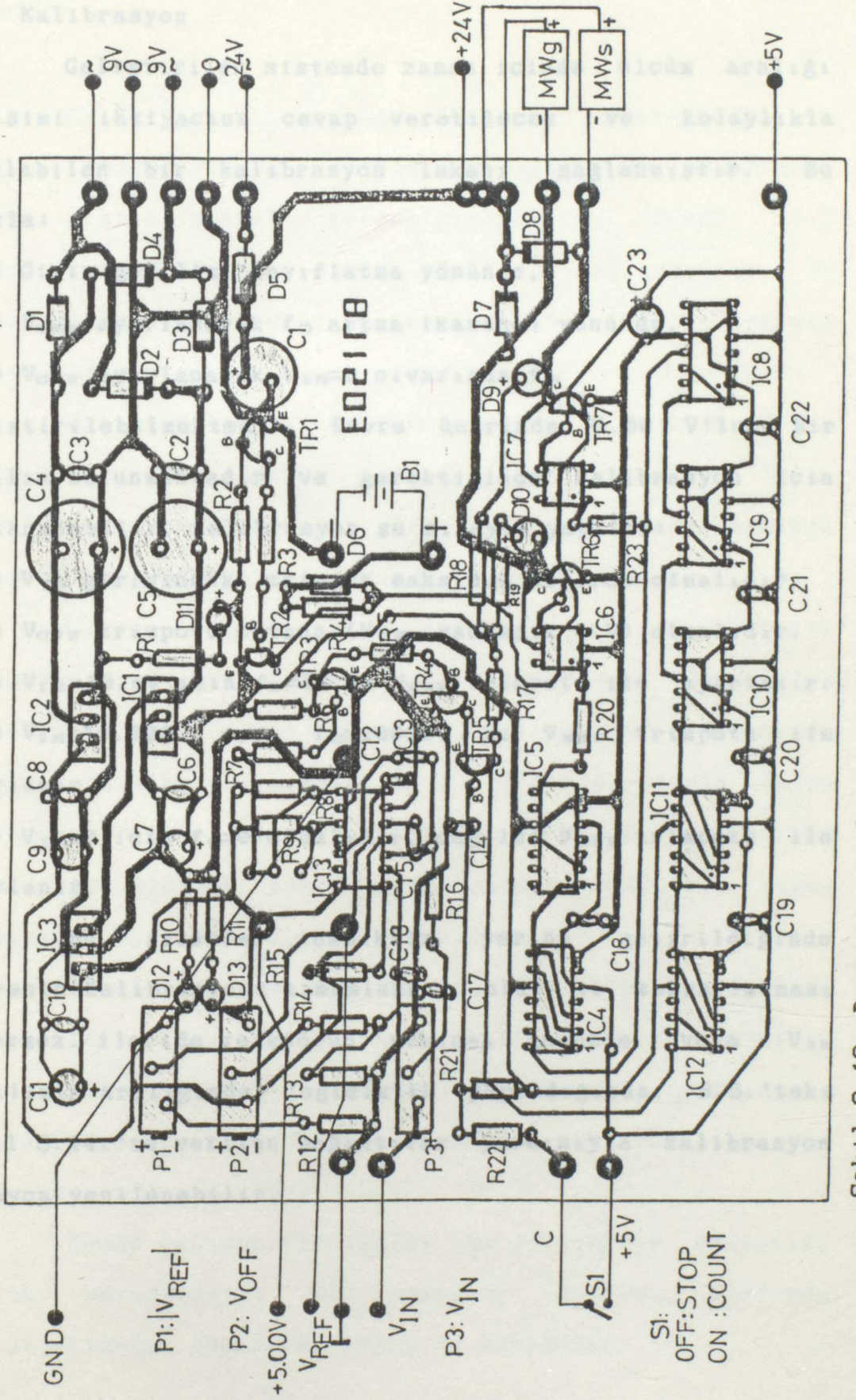
Bölüm 3.3. - 3.7.'deki devreler biraraya getirilerek Şekil 3.17.'deki devre oluşturulmuş ve 145 x 175(mm) boyutlarında bir plexiglass baskılı devre üzerine yerleştirilmiştir. Şekil 3.18.'de hazırlanan baskılı devrenin bakırlı yüzden görünüşü, Şekil 3.19.'da ise eleman yerleştirme planı ve elektriksel bağlantı uçları gösterilmiştir.



R1	: 1k	C1	: 100u/63V	P1	: 20k
R2	: 3k3	C2	: 100n	P2	: 50k
R3	: 1k5	C3	: 100n	P3	: 50k
R4	: 1k	C4	: 220u/63V	D1	: 1N4001
R5	: 1k	C5	: 220u/63V	D2	: 1N4001
R6	: 10k	C6	: 100n	D3	: 1N4001
R7	: 150	C7	: 10u/63V	D4	: 1N4001
R8	: 10k	C8	: 100n	D5	: 1N4001
R9	: 10k	C9	: 10u/16V	D6	: 1N4001
R10	: 1k	C10	: 100n	D7	: 1N4001
R11	: 1k	C11	: 10u/16V	D8	: 1N4001
R12	: 11k	C12	: 100n	D9	: 1N4001
R13	: 10k	C13	: 820p	D10	: Y.LED
R14	: 510k	C14	: 100n	D11	: S.LED
R15	: 100k	C15	: 180p	D12	: K.LED
R16	: 1M2	C16	: 100n	D13	: K.LED
R17	: 4k7	C17	: 10n	TR1	: BC548B
R18	: 1k	C18	: 100n	TR2	: BC327-25
R19	: 1k	C19	: 100n	TR3	: BC548B
R20	: 470	C20	: 100n	TR4	: BC548B
R21	: 3k3	C21	: 100n	TR5	: BC548B
R22	: 4k7	C22	: 100n	TR6	: BC548B
R23	: 470	C23	: 10u/16V	TR7	: BC548B
IC1	: L7805CV	IC2	: LM7905CT	IC3	: L7805CV
IC4	: 74LS90	IC5	: 74LS90	IC6	: TFK4N25
IC7	: TFK4N25	IC8	: 74LS90	IC9	: 74LS90
IC10	: 74LS90	IC11	: 74LS90	IC12	: 74LS90
IC13	: TSC9401	S1	: SWITCH	B1	: 6V Pil



Şekil 3.18. Baskılı devrenin bakırlı yüzden görünüşü.



Şekil 3.19. Devrenin yerleştirme planı.

3.9. Kalibrasyon

Geliştirilen sistemde zaman içinde ölçüm aralığı değişimi ihtiyacına cevap verebilecek ve kolaylıkla yapılabilen bir kalibrasyon imkanı sağlanmıştır. Bu amaçla:

- 1) Giriş gerilimi zayıflatma yönünde,
- 2) V_{REF} ayarlanarak f_0 artma (kazanç) yönünde,
- 3) V_{OFF} ayarlanarak $V_{IN}=0$ civarında f_0 değiştirilebilmektedir. Devre üzerinde 5.00 V'luk bir gerilim bulunmaktadır ve gerektiğinde kalibrasyon için kullanılabilir. Kalibrasyon şu sırayla yapılır:

- 1) V_{IN} girişindeki trimpot maksimum değerde olmalıdır.
- 2) V_{OFF} trimpotu ortada (V_{OFF} yaklaşık 0 V) olmalıdır.
- 3) $V_{IN}=10.mV$ için $f_0=10.Hz$ V_{REF} trimpotu ile ayarlanır.
- 4) $V_{IN}=10.000 V$ için $f_0=10000. Hz$ V_{REF} trimpotu ile ayarlanır.
- 5) $V_{IN}=0$ için $f_0=0$ olmalıdır, değilse V_{OFF} trimpotu ile ayarlanır.

Bu işlemler eksiksiz yerine getirildiğinde devrenin kalibrasyonu tamamlanmış olur ve tekrarlanması gerekmez. ileride reaktörün nominal gücünde veya V_{IN} gerilimin aralığında değişiklik yapıldığında, 3.5.'teki Şekil 3.14.'te verilen bağıntılar yardımıyla kalibrasyon kolayca yenilenebilir.

Tezde çalışma ile ilgili tüm dokümanlar ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu nedenle sistemin üzerinde geliştirilmeleri yapılabilecek kolay ve mümkündür.

4. SONUÇ

KAYNAKLAR

[11] A.S. Taylor, 'TR-2 Reactor Facility', teknik raporu, ÇNAEM Bu çalışmada, nükleer reaktör enstrümantasyonu için bir enerji sayacı tasarımı yapılmış ve tasarlanan sistem pratik olarak gerçekleştirilerek ÇNAEM TR-2 Reaktörü'nün N-16 güç ölçme kanalına bağlanmıştır. Bu kanal, güçle lineer orantılı olarak 0-10 V gerilim işareti üretmektedir.

Geliştirilen sistem, güçle orantılı bu 0-10 V'luk işaretin dijital olarak integralini almakta, belli sabitlerle çarparak sonuçta, üretilen enerji birer mekanik sayıcıda MWS ve MWg birimlerinde gösterilmektedir.

Sistem tasarlanırken esneklik ve güvenilirlik önplanda tutularak, mümkün olduğu kadar kolay bulunabilen elemanlarla gerçekleştirme yoluna gidilmiştir. Cihaz'da elektrik kesilmelerine karşı Ni-Cd akü desteğiyle önlem alınmıştır. Ayrıca oluşturulan bir kontrol ucu ile reaktör kapalıyken sisteme enerji ve işaret verilse bile, istenmeyen bir sayma olayı önlenmiştir.

Elektronik devrede ısı kararlılığı yüksek, düşük toleranslı devre elemanları kullanılmıştır. Cihaz içerisindeki en önemli ve tek kalibrasyon VFC üzerindedir ve bir kere hassas olarak ayarlandıktan sonra sistem kusursuzca çalışmaktadır.

Tezde çalışma ile ilgili tüm dokümanlar ayrıntılı olarak verilmiştir. Bu nedenle sistem üzerinde geliştirilmeler yapılması kolay ve mümkündür.

KAYNAKLAR

- [1] A.S. Taylan, 'TR-2 Reactor Facility', tanıtım raporu, ÇNAEM.
- [2] B. Peatman, The Design of Dijital Systems, Mc Graw Hill, 1972.
- [3] D. Leblebici, 'Elektronik Devreleri', s: 36-52, 1983.
- [4] 'Elektronik Devre Elemanları', ELO Elektronik, 19; s:45-46, 1984.
- [5] 'Gerilim-Frekans Dönüştürücü', ELO Elektronik, 2; s: 23-24, 1982.
- [6] 'Lojik Aileleri', ELO Elektronik, 18; s: 40-43, 1984.
- [7] 'Mating Logic Families', Elektor, 106; s: 2.48-2.51, February, 1984.
- [8] N-16 Channel Operation and Maintenance Manual, General Atomic Company, 1981.
- [9] 'Ni-Cd Akümülatörler', ELO Elektronik, 32; 23-26, 1986.
- [10] 'Semiconductors', AEG-TELEFUNKEN Short Form Catalogue, s: 25, 33, 1980/1981.
- [11] 'Single Rail VCO', Texas Instruments, The LinCMOS Design Manuel, s: 4.27-4.29, 1985.
- [12] 'TTL Frekans Bölücü/Sayıcılar', ELO Elektronik, 26; s: 28-30, 27; s: 27-30, 1985.
- [13] 'V/F, F/V Converters', Data Acquisition IC Handbook, Teledyne Semiconductors, s: 9.3-9.12, 15.27-15.35, 1985.
- [14] Y. Leblebici, 'Elektronik Düzenler ve Devreleri', s: 74-78, 1986.

ÖZGEÇMİŞ

Müh. Altan Yıldız, 1965 yılında İstanbul'da doğmuştur. Branş dalı olarak Devreler ve Sistemleri seçtiği İstanbul Teknik Üniversitesi Elektronik ve Haberleşme Bölümü'nden 1987 yılında mezun olmuş ve aynı yıl Yıldız Üniversitesi Elektronik Bölümü'nde Yüksek Mühendislik çalışmalarına başlamıştır.

Yazar daha önceki çalışmalarında Bilgisayar Destekli Tasarım ve Otomasyon konularında çeşitli araştırmalarda bulunmuş, konu ile ilgili olarak çeşitli elektronik ve dijital devre sınama/tasarım programları geliştirmiştir.

TSC9401 (0.05%)
TSC9401 (0.01%)
TSC9402 (0.25%)

Voltage to Frequency/ Frequency to Voltage Converters

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature -65°C to +150°C
Operating Temperature 0°C to 70°C
J Package -40°C to +85°C
L Package -40°C to +85°C
V_{CC} - V_{EE} 15 V

I_{OUT} 10 mA
V_{OUT} Min - V_{OUT} Common 25 V
V_{OUT} - V_{EE} -1.5 V
Package Dissipation 500 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 sec) 300°C

Electrical Characteristics, V/F Mode: Unless otherwise specified, V_{CC} = +5 V, V_{EE} = -5 V, V_{OUT} = 0, V_{IN} = 0 V, R_{OUT} = 100 k Ω , Full Scale = 10 LHz, T_A = 25°C unless the Temperature Range is specified -40°C to +85°C for J package, 0°C to 70°C for L package.

EK

SİSTEMDE KULLANILAN VFC'NİN TEKNİK ÖZELLİKLERİ

VE

ELEMANLARIN KILIF YAPILARI

PARAMETER	DEFINITION	TSC9401	TSC9402	TSC9401	UNITS
Accuracy	Output Deviation From Straight Line Between Normalized Zero and Full-Scale Input	-0.04 0.01	-0.01 0.05	-0.02 0.05	% Full-Scale
Linearity	Linearity Error	-0.02 0.02	-0.1 0.05	-0.05 0.02	% Full-Scale
Gain Temperature Drift (Note 1)	Gain Temperature Change	-0.02 0.02	-0.05 0.05	-0.02 0.02	% Full-Scale/°C
Gain Variance	Variance from Exact 5 Compensation by Trimming Res. V _{OUT} or V _{IN}	-0.02 0.02	-0.05 0.05	-0.02 0.02	% of Nominal
Zero Offset (Note 2)	Correction of Zero Offset for Zero Output When Input is Zero	-0.02 0.02	-0.05 0.05	-0.02 0.02	mV
Zero Temperature Drift (Note 3)	Variance in Zero Offset Due to Temperature Change	-0.02 0.02	-0.05 0.05	-0.02 0.02	mV/°C
Analog Input to Full-Scale	Full-Scale Analog Input Current to Achieve Specified Accuracy	-10 10	-10 10	-10 10	μ A
An Offset	Offset Current	-10 10	-10 10	-10 10	μ A
Response Time	Settling Time to 0.25% Full-Scale	2 2	2 2	2 2	Cycles
Digital Output V _{OUT} (Note 4) = 10 μ A (Note 5)	Logical "0" Output Voltage	-0.4 0.4	-0.4 0.4	-0.4 0.4	V
V _{OUT} Min - V _{OUT} Common (Note 4)	Voltage Range Between Output and Common	-10.0 10.0	-10.0 10.0	-10.0 10.0	V
Full Frequency Output Range	Output Range	-10 10	-10 10	-10 10	LHz
Supply Current (J Package) (Note 6)	Current Required From Positive Supply During Operation	-20 40	-20 40	-20 40	μ A
Max Output (J Package) (Note 6)	Current Required From Negative Supply During Operation	-1.5 4.5	-1.5 4.5	-1.5 4.5	μ A
V _{CC} Supply	Operating Range of Positive Supply	-4.5 15	-4.5 15	-4.5 15	V
V _{EE} Supply	Operating Range of Negative Supply	-4.5 -15	-4.5 -15	-4.5 -15	V
Reference Voltage V _{CC} - V _{EE}	Range of Voltage Reference Input	-1.5 15	-1.5 15	-1.5 15	V

Notes:
1. Full temperature range.
2. $I_{OUT} = 0$.
3. Full temperature range, $I_{OUT} = 10 \mu$ A.
4. $I_{OUT} = 10 \mu$ A.
5. 10 Hz to 100 kHz.
6. I_{OUT} with positive input within and 0.5 μ A at I_{OUT} at zero input with $I_{OUT} = 0$ to 10 μ A.

7. $I_{OUT} = 10 \mu$ A.
8. Full temperature range, V_{CC} = +5 V, V_{EE} = -5 V.
9. $I_{OUT} = 10 \mu$ A.
10. Do not connect the output of an operational amplifier. Voltage sources should be connected directly but must be followed by current source.

TSC9400 (0.05%)
TSC9401 (0.01%)
TSC9402 (0.25%)

Voltage to Frequency/ Frequency to Voltage Converters

Absolute Maximum Ratings

Storage Temperature	-65°C to +150°C
Operating Temperature	
J Package	0°C to 70°C
L Package	-40°C to +85°C
V _{DD} - V _{SS}	18 V

I _{IN}	10 mA
V _{OUT} Max - V _{OUT} Common	25 V
V _{REF} - V _{SS}	-1.5 V
Package Dissipation	500 mW
Lead Temperature (Soldering, 10 sec)	300°C

Electrical Characteristics, V/F Mode: Unless otherwise specified, V_{DD} = +5 V, V_{SS} = -5 V, V_{GND} = 0, V_{REF} = -5 V, R_{BIAS} = 100 k Ω , Full-Scale = 10 kHz, T_A = 25°C unless Full Temperature Range is specified -40°C to +85°C for L package, 0°C to 70°C for J package.

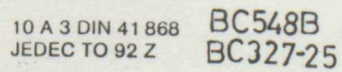
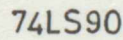
VOLTAGE-TO-FREQUENCY		TSC9401			TSC9400			TSC9402			UNITS
PARAMETER	DEFINITION	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	MIN	TYP	MAX	
Accuracy											
Linearity 10 kHz	Output Deviation From Straight Line Between Normalized Zero and Full-Scale Input	-0.004	0.01		-0.01	0.05		-0.05	0.25		% Full-Scale
Linearity 100 kHz		-0.04	0.08		-0.1	0.25		-0.25	0.50		% Full-Scale
Gain Temperature Drift (Note 1)	Variation in Gain A due to Temperature Change	-	± 25	± 40	-	± 25	± 40	-	± 50	± 100	ppm/°C Full-Scale
Gain Variance	Variation from Exact A Compensate by Trimming R _{IN} , V _{REF} , or C _{REF}	-	± 10	-	-	± 10	-	-	± 10	-	% of Nominal
Zero Offset (Note 2)	Correction at Zero Adjust for Zero Output When Input is Zero	-	± 10	± 50	-	± 10	± 50	-	± 20	± 100	mV
Zero Temperature Drift (Note 1)	Variation in Zero Offset Due to Temperature Change	-	± 25	± 50	-	± 25	± 50	-	± 50	± 100	$\mu V/^\circ C$
Analog Inputs I _{IN} Full-Scale	Full-Scale Analog Input Current to Achieve Specified Accuracy	-	10	-	-	10	-	-	10	-	μA
I _{IN} Overrange	Overtime Current	-	-	50	-	-	50	-	-	50	μA
Response Time	Settling Time to 0.01% Full-Scale	-	2	-	-	2	-	-	2	-	Cycles
Digital Outputs V _{SAT} @ I _{OL} = 10 μA (Note 3)	Logical "0" Output Voltage	-	-	0.4	-	-	0.4	-	-	0.4	V
V _{OUT} Max - V _{OUT} Common (Note 4)	Voltage Range Between Output and Common	-	-	18.0	-	-	18.0	-	-	18.0	V
Pulse Frequency Output Width		-	3.0	-	-	3.0	-	-	3.0	-	μsec
Supply Current											
I _{DD} Quiescent (L Package) (Note 9)	Current Required From Positive Supply During Operation	-	2.0	4.0	-	2.0	4.0	-	-	-	mA
I _{DD} Quiescent (J Package)		-	2.0	6.0	-	2.0	6.0	-	3.0	10.0	mA
I _{SS} Quiescent (L Package) (Note 10)	Current Required From Negative Supply During Operation	-	-1.5	-4.0	-	-1.5	-4.0	-	-	-	mA
I _{SS} Quiescent (J Package)		-	-1.5	-6.0	-	-1.5	-6.0	-	-3.0	-10.0	mA
V _{DD} Supply	Operating Range of Positive Supply	4.0	-	7.5	4.0	-	7.5	4.0	-	7.5	V
V _{SS} Supply	Operating Range of Negative Supply	-4.0	-	-7.5	-4.0	-	-7.5	-4.0	-	-7.5	V
Reference Voltage V _{REF} - V _{SS}	Range of Voltage Reference Input	-1.0	-	-	-1.0	-	-	-1.0	-	-	V

Notes:

1. Full temperature range
2. I_{IN} = 0.
3. Full temperature range. I_{OUT} = 10 mA.
4. I_{OUT} = 10 μA
5. 10 Hz to 100 kHz.
6. 5 μs min. positive pulse width and 0.5 μs min. negative pulse width.
7. T_r = t_r = 20 ns.

8. R_L $\geq$ 2 k Ω
9. Full temperature range. V_{IN} = -0.1 V.
10. V_{IN} = -0.1 V

11. I_{IN} connects the summing junction of an operational amplifier. Voltage sources cannot be attached directly but must be buffered by external resistors.



YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
KÜTÜPHANE DOKÜMANTASYON
DAİRE BAŞKANLIĞI

Kot : R 210
32
Alındığı Yer : Fen Bilimler Ens.
Tarih : 19.03.1992
Fatura :
Fiyatı : 15.000.-TL
Ayniyat No : 1/1
Kayıt No : 48222
UDC : 530
Ek :



