

Etkin değer ölçülürken, iki direncin üzerlerinde harcanan güçlerin karşılaştırılmasından yararlanmak da mümkündür. Bu ilkeye göre çalışan bir devre Şekil-3.22'de görülmektedir.

Devrede T_1 tranzistoru ile R_1 direnci, T_2 tranzistoru ile de R_2 direnci arasında ısıl bağlaşma oluşturulmuştur. T_1 ve T_2 tranzistorları bir fark kuvvetlendiricisi oluşturacak şekilde bağlanmışlardır. Uygulanan giriş gerilimi ile R_1 direnci ve bununla ısıl bağlaşmalı olan T_1 tranzistoru ısıtılmakta, sıcaklığın yükselmesiyle V_{BE} gerilimindeki değişim gözlenmektedir. Devrenin V_O çıkış gerilimi de R_2 direncine uygulanmaktadır. Fark kuvvetlendiricisinin dengesinin sağlanması için R_2 direncinin ve bununla ısıl bağlaşmalı olan T_2 tranzistorunun da aynı oranda ısıtılması gerekeceği açıktır. Bu da, ancak, V_O çıkış geriliminin giriş işaretinin etkin değerine eşit bir değer almasıyla mümkün olabilir. Buna göre

$$V_O = V_{eff}$$

olmaktadır.

Devreye bir V_1 giriş gerilimi uygulandığında $R_1 - T_1$ kombinezonunun sıcaklığı artar. $R_2 - T_2$ kombinezonu da V_O çıkış gerilimi tarafından ısıtılır. Bununla I_{C2} kolektör akımı artar. Bu artma akım I_{C1} akımına eşit olana kadar sürer; böylece bir sıcaklık geribeslemesi oluşur. Çıkış gerilimi

$$I_{C1} = I_{C2} \quad , \quad V_{BE1} = V_{BE2}$$

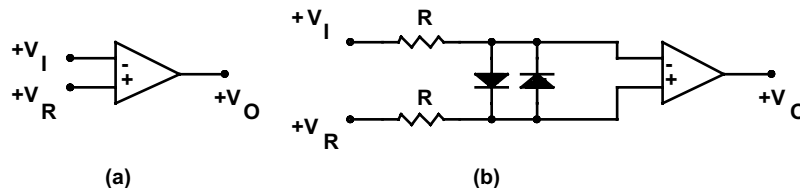
olana kadar değişir.

Devreden fark edilebileceği gibi, iki ölçü düzeni birbirinden ısıl ve elektriksel açıdan yalıtılmıştır. Devredeki D diyodu R_2 direncinin negatif gerilimle sürülmesini ve pozitif geribesleme oluşmasını önlemek amacıyla kullanılmaktadır. Isıtma gücü V_O^2 ile orantılı olduğundan, sistemin çevrim kazancı da V_{O2} ile orantılı olur. Bu nedenle lineer olmayan bir basamak cevabı elde edilmektedir.

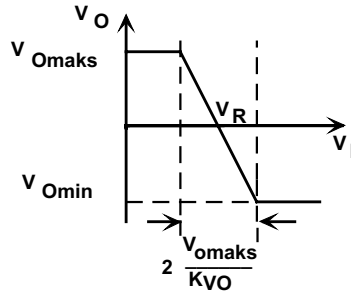
3.2. İşlemsel kuvvetlendiricilerin lineer olmayan geçiş karakteristiğinden yararlanılarak gerçekleştirilen devreler

Gerilim karşılaştırıcılar

İşlemsel kuvvetlendiriciler kazancı yüksek ve geçiş karakteristiği keskin olan, başka bir deyişle küçük bir giriş gerilimi değişimi ile çıkış gerilimi bir sınır değerden diğerine kadar değiştirilebilen devre elemanlarıdır. Bu nedenle, işlemsel kuvvetlendiricilerden **gerilim karşılaştırıcısı** olarak yararlanmak mümkündür. İşlemsel kuvvetlendiricinin gerilim karşılaştırıcısı olarak kullanılması, Şekil-3.23'de görülmektedir. Gerilim karşılaştırıcısının geçiş karakteristiği de Şekil-3.24'de verilmiştir.



Şekil-3.23. İşlemsel kuvvetlendiricinin gerilim karşılaştırıcısı olarak kullanılması.



Şekil-3.24. Gerilim karşılaştırıcının geçiş karakteristiği.

Devrede

$$V_P = V_R \quad , \quad V_N = V_I$$

olduğu dikkate alınırsa, devrenin çıkış gerilimi

$$(V_R - V_I) > \frac{V_{Omaks}}{K_{VO}}$$

olduğu sürece

$$V_O = V_{Omaks}$$

$$(V_I - V_R) \geq -\frac{V_{Omin}}{K_{VO}}$$

olduğu sürece de

$$V_O = V_{Omin}$$

değerini alır. Gerilim karşılaştırıcı olarak kullanılan işlemsel kuvvetlendiricinin geçiş eğrisi

$$V_O = \begin{cases} V_{Omaks} & , \quad V_I \leq V_R - \frac{V_{Omaks}}{K_{VO}} \\ V_{Omin} & , \quad V_I \geq V_R - \frac{V_{Omin}}{K_{VO}} \end{cases} \quad (3.61)$$

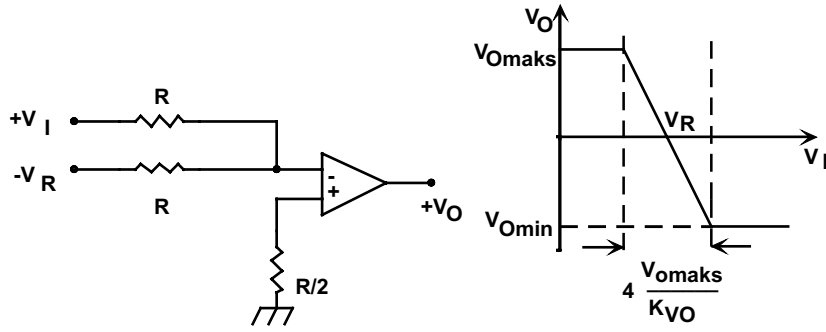
bağıntısı ile karakterize edilebilir. Bağıntıdan ve Şekil-3.24'den fark edilebileceği gibi, devre faz döndüren bir karakteristik göstermektedir. V_I giriş ve V_R referans gerilimlerinin uygulandıkları giriş uçları aksedilirse, faz döndürmeyen bir gerilim karşılaştırıcı devresi elde edilir ve karakteristik tersine döner. Gerilim karşılaştırıcı devresinin giriş uçları arasına gelen gerilimin büyük değerlere ulaşması durumunda, işlemsel kuvvetlendiricinin girişine uygulanmasına izin verilen sınır değerler aşılabılır ve kuvvetlendirici zarar görebilir. Bu nedenle, Şekil-3.23b'de gösterilen biçimde, devrenin girişine R dirençlerinden ve diyotlardan oluşan bir koruma devresi yerleştirilir. Giriş uçları arasındaki gerilim farkı diyot iletim eşiğinden küçük olduğu sürece diyotlar tıkalıdır. Devrenin girişinden içeriye doğru bakıldığında $2R$ direnci ve buna seri gelen işlemsel kuvvetlendirici giriş direncinin toplamı görüleceğinden, giriş direnci çok büyük değerli, pratik olarak sonsuz olur. Giriş uçları arasındaki fark diyot iletim yönü gerilimini aştığında, uygulanan

gerilimin yönüne bağlı olarak diyotlardan biri iletme geçer ve işlemsel kuvvetlendiricinin iki giriş ucu arasındaki gerilim, bir diyot gerilimine kenetlenmiş olur; dolayısıyla sınır değerin aşılması önlenir. Ancak, bu durumda toplam giriş direnci yaklaşık olarak $2R$ değerindedir ve bunun da sürücü devreyi yükleyeceği dikkate alınmalıdır.

İşlemsel kuvvetlendiricinin konum değiştirme eşiği, başka bir deyişle karakteristiğın sıfır geçiş noktası $V_I = V_R$ den farklı olur ve E_{CV} bir hata terimi olmak üzere

$$V_I = V_R \left[1 - \frac{I}{E_{CV}} \right] \quad (3.62)$$

değerini alır. Bu farklılık, işlemsel kuvvetlendiricinin ortak işareti zayıflatma oranının (CMRR) sonsuz olmamasından kaynaklanır. Bu hata, değişik bir devre kurulmasıyla kolayca elimine edilebilir; devre yapısı ve bunun geçiş karakteristiği Şekil-3.25'de verilmiştir.



Şekil-3.25. Geçiş hatası azaltılmış gerilim karşılaştırıcı ve geçiş karakteristiği.

Bu devrede işlemsel kuvvetlendiricinin faz döndürmeyen girişi bir $R/2$ direnci üzerinden toprak potansiyelinde tutulmakta, negatif değerli referans gerilimi ile giriş gerilimi ise birer R direnci üzerinden işlemsel kuvvetlendiricinin faz döndüren girişine uygulanmaktadır. Devredeki R dirençleri ile bir toplama devresi oluşturulmuştur. Devrenin her iki girişine bağlanan dirençlerin değerce eşit olmaları, işlemsel kuvvetlendiricinin dengeli çalışması için bir zorunluluktur. Bu nedenle, faz döndürmeyen girişe bağlanan direnç $R/2$ değerinde seçilmiştir. Giriş

gerilimi referans gerilimine eşit iken karakteristiğın sıfırdan geçmesi için referans geriliminin $V_{ref} = -V_R$ biçiminde negatif değerli olması gerekeceği açıktır.

Konum değiştirme gerilimini etkileyen diğer faktörler, işlemsel kuvvetlendiricinin giriş gerilim ve akım dengesizlikleri ile sürüklenmesi olmaktadır. Kuvvetlendiricinin faz döndüren girişi ile toprak ucu arasına gelen toplam direnç R_N ile, faz döndürmeyen girişine gelen toplam direnç de R_P ile gösterilsin. Bu durumda devrenin giriş dengesizlik gerilimi

$$V_{IO} = -R_P \cdot \left[I_I + \frac{I_{IO}}{2} \right] + R_N \cdot \left[I_I - \frac{I_{IO}}{2} \right] - V_{IO} \quad (3.63)$$

ve bunun sıcaklıkla sürüklenmesi de

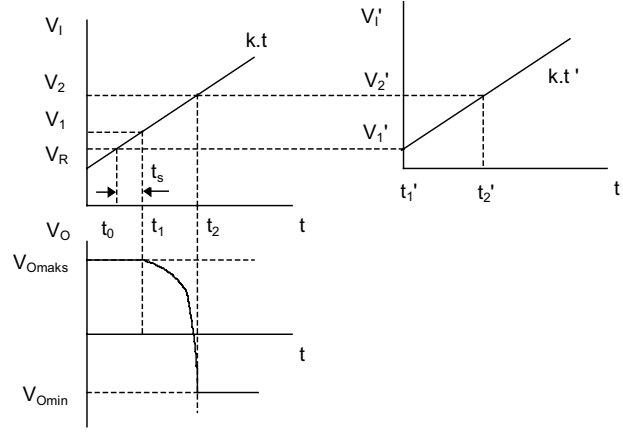
$$\frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} = -R_P \cdot \left[\frac{\Delta I_I}{\Delta T} + \frac{1}{2} \frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} \right] + R_N \cdot \left[\frac{\Delta I_I}{\Delta T} - \frac{1}{2} \frac{\Delta I_{IO}}{\Delta T} \right] + \frac{\Delta V_{IO}}{\Delta T} \quad (3.64)$$

olur. Bu hata, dengesizlik gerilimi küçük kuvvetlendirici kullanılarak ve $R_P = R_N$ alınarak azaltılabilir.

Buraya kadar ele alınan etkenler, yavaş değişen giriş işaretleri için geçerlidir. Hızlı değişen işaretlerde hem giriş işaretinin hem de işlemsel kuvvetlendiricinin yükselme eğimi için girer. Giriş işaretinin yükselme eğimi k olsun. Devrenin karşılaştırma sınırları

$$V_R - \frac{V_{Omax}}{K_{VO}} , V_R + \frac{|V_{Omin}|}{K_{VO}}$$

şeklinindedir. İşlemsel kuvvetlendiricinin band genişliğinin sonsuz olması ve yükselme eğiminin sadece giriş işaretinin yükselme eğiminden kaynaklanması durumunda V_O çıkış işaretinin yükselme eğimi $k \cdot K_{VO}$ olur. Giriş işaretinde hızlı değişimler söz konusu olduğunda, çıkış gerilimi kuvvetlendiricinin geçici hal cevabına da bağlıdır. V_O çıkış geriliminin zamana bağımlılığı giriş işaretinin yükselme eğiminin, kuvvetlendiricinin t_s toparlanma süresinin, f_o band genişliğinin ve YE yükselme eğiminin bir fonksiyonudur.



Şekil-3.26. Gerilim karşılaştırıcının zaman diyagramı.

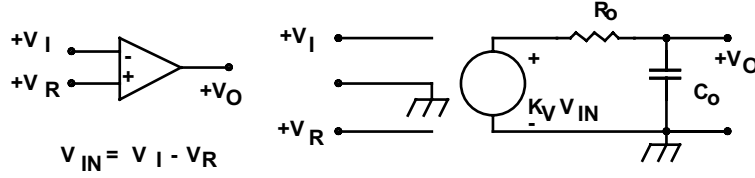
Giriş işaretinin zamanla lineer olarak değiştiği ve bu değişimin hızının k olduğu kabul edilsin. Bu duruma ilişkin değişimler Şekil-3.26'de verilmiştir. $t = t_0$ da karşılaştırıcının konum değiştirmesi gerekirdi. Ancak, şekilden de izlenebileceği gibi, karşılaştırıcı t_0 da değil, fakat t_1 anında konum değiştirmekte, $t = t_2$ anında da V_o çıkış gerilimi son değerine ulaşmaktadır. Fark edilebileceği gibi, karşılaştırıcının konum değiştirmeye başlaması için geçen süre

$$t_s = t_1 - t_0$$

farkına eşittir. t_2 büyüklüğü kuvvetlendiricinin f_0 kesim frekansına ve YE yükselme eğimine bağlıdır. Giriş geriliminin t_2 anında alacağı değeri hesaplayalım. t_1 anında işlemsel kuvvetlendirici doymadan çıkar ve lineer bölgeye girer. Bu bölgede transfer fonksiyonu

$$K_V(s) = \frac{K_{VO}}{1 + \frac{s}{\omega_0}}$$

şeklindedir. İşlemsel kuvvetlendiricinin geçiş bölgesindeki davranışı için Şekil-3.27'deki eşdeğer devreden yararlanılabilir. Bu bölgede işlemsel kuvvetlendirici lineer çalışma bölgesindedir.



Şekil-3.27. Linear çalışma bölgesinde işlemsel kuvvetlendiricinin eşdeğer devresi.

Ancak, lineer çalışma bölgesine girene kadar kuvvetlendirici doymada çalışır. İşlemsel kuvvetlendiricinin doymadan çıkıp lineer bölgeye girdiği andan itibaren geçen zaman t' ile gösterilsin. Devrenin zaman domenindeki davranışı, bir transformasyon yardımıyla $V_I - t$ düzleminde $V_I' - t'$ düzlemine geçilerek incelenebilir.

$V_I' - t'$ düzleminde V_I' giriş gerilimi

$$V_I' = k.t' + V_I \quad (3.65)$$

şeklinde yazılabilir. Bu durumda s domeninde çıkış gerilimi yazılırsa

$$V_O(s) = -\frac{\omega_O}{\omega_O + s} \left[\frac{k \cdot K_{VO}}{s^2} + \frac{K_{VO} \cdot V_I'}{s} - \frac{V_{Omaks}}{\omega_O} \right] \quad (3.66)$$

elde edilir. Bu bağıntıdan hareketle $v_o(t')$ zaman domeni cevabı hesaplanırsa

$$v_o(t') = -K_{VO} \cdot k \cdot t' + K_{VO} \cdot \left[\frac{k}{\omega_O} - V_I' \right] \cdot (1 - \exp(-\omega_O \cdot t')) + V_{Omaks} \cdot \exp(-\omega_O \cdot t') \quad (3.67)$$

bulunur. $\omega_O \cdot t' \ll 1$ olduğu sürece üstel terimler yerine bunların seri açılımları alınabilir. Böylece

$$v_o(t') = -K_{VO} \cdot \left[\frac{k}{\omega_O} - \frac{V_{Omaks}}{K_{VO}} - V_I' \right] \cdot \frac{\omega_O^2 \cdot t'^2}{2} - (K_{VO} \cdot V_I' + V_{Omaks}) \cdot \omega_O \cdot t' + V_{Omaks} \quad (3.68)$$

elde edilir. $t' = t_2'$ anında çıkış gerilimi işlemsel kuvvetlendiricinin V_{Omin} negatif doyma gerilimine ulaşır. Karşılaştırma işleminin sınırındaki giriş gerilimi değeri V_2' ile gösterilmiştir. Bu büyüklük, k nın büyük değerlerinde önemli ölçüde yüksek değerler alabilir. Hızlı değişen giriş gerilimlerinde

$$\frac{k}{\omega_O} \gg \left[\frac{V_{Omaks}}{K_{VO}} + V_1' \right]$$

$$K_{VO} \cdot V_1' = K_{VO} \cdot k \cdot t_s \gg V_{Omaks}$$

olmak üzere

$$t_2' = -t_s + \sqrt{t_s^2 + 2 \cdot \frac{V_{Omaks} - V_{Omin}}{K_{VO} \cdot \omega_O \cdot k}} \quad (3.69)$$

elde edilir. t_2 anındaki V_2 giriş gerilimi orijinal koordinat sisteminde yazılırsa

$$V_2 = V_R + k \cdot (t_s + t_2')$$

$$V_2 = V_R + \sqrt{k^2 \cdot t_s^2 + 2 \cdot k \cdot \frac{V_{Omaks} - V_{Omin}}{K_{VO} \cdot \omega_O}} \quad (3.70)$$

bulunur. Hızlı değişen giriş gerilimleri için devrenin çıkış gerilimi

$$V_O = \begin{cases} V_{Omaks} & V_I \leq V_R + k \cdot t_s \\ V_{Omin} & V_I \geq V_R + \sqrt{k^2 t_s^2 + 2k \frac{V_{Omaks} - V_{Omin}}{K_{VO} \cdot \omega_O}} \end{cases} \quad (3.71)$$

değerini alır. Çok büyük k değerlerinde işlemsel kuvvetlendiricinin YE yükselme eğimi t_2 süresini belirleyen temel faktör olur. Bu durumda t_2' büyüklüğü t_2'' gibi bir değer alır ve bu büyüklük

$$t_2'' = \frac{V_{Omaks} - V_{Omin}}{YE} \quad (3.72)$$

bağıntısıyla hesaplanabilir. (3.69) bağıntısıyla verilen süre t_2' ile gösterilirse, $t_2'' \gg t_2'$ olacağı açıktır. Başka bir deyişle, işlemsel kuvvetlendiricinin YE eğimi

sınırlayıcı bir etken olmaktadır. (3.72) bağıntısı çıkış gerilimini veren bağıntıya götürülürse

$$V_O = \begin{cases} V_{Omax} & V_I \leq V_R + k \cdot t_s \\ V_{Omin} & V_I \geq V_R + k \cdot t_s + k \frac{V_{Omax} - V_{Omin}}{YE} \end{cases} \quad (3.73)$$