În general, comparatorul de tensiune are 2 intrări. Pe una din aceste intrări se aplică un semnal care codează informaţia reprezentată prin intermediul unei tensiuni, iar pe a 2a intrare se aplică o referinţă de tensiune = o sursă de tensiune constantă. Comparatorul de tensiune compară valoarea semnalului cu cea a referinţei de tensiune şi furnizează la ieşirea sa rezultatul comparaţiei respective.

Comparatorul de tensiune se poate construi fie cu amplificatoare operaţionale, fie cu circuite integrate speciale, denumite comparatoare de tensiune. În continuare se vor prezenta cele mai uzuale versiuni de comparatoare de tensiune realizate cu amplificatoare operaţionale.

I. Comparator simplu de tensiune cu AO

AO-ul are o amplificare în tensiune (definită ca raportul $\mathbf{v_O/v_{ID}}$) foarte mare, de ordinul sutelor de mii, unde $\mathbf{v_{ID}}$ reprezintă diferenţa tensiunilor aplicate pe cele două intrări, iar $\mathbf{v_O}$ reprezintă tensiunea de ieşire a acestuia. Deoarece amplificarea în tensiune este foarte mare, de îndată ce tensiunea $\mathbf{v_{ID}}$ este diferită de **0[V]**, tensiunea de ieşire a amplificatorului operaţional se stabileşte, în funcţie de semnul tensiunii $\mathbf{v_{ID}}$, la o valoare constantă, numită tensiune de saturaţie pozitivă, respectiv negativă, aşa cum este sugerat şi în Figura 1, care reprezintă caracteristica ideală de funcţionare a AO-ului.

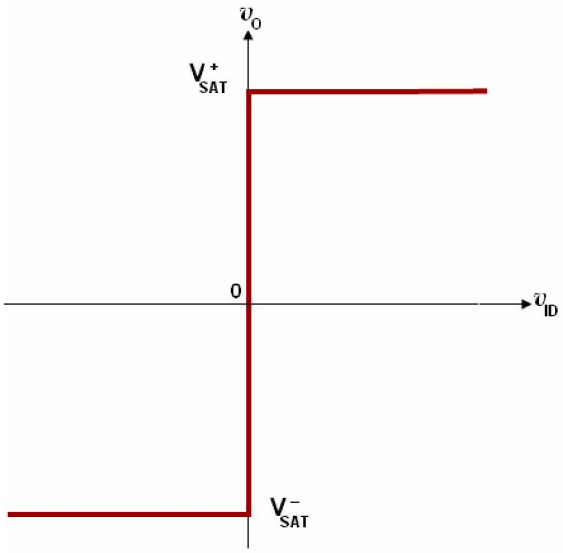

Figura 1. Caracteristica de funcţionare a AO-ului.

Schema comparatorului de tensiune simplu este redată în Figura 2, în care, pentru simplitate, nu s-au mai reprezentat sursele de alimentare **VCC** şi **VEE**. Pe intrarea inversoare se aplică o referinţă de tensiune, care stabileşte o tensiune de prag, notată $\mathbf{V_P}$, iar pe intrarea neinversoare se aplică tensiunea de intrare notată $\mathbf{v_I}$, care reprezintă informaţia utilă (monitorizată). Pentru amplificatorul operaţional din figură, tensiunea de intrare diferenţială $\mathbf{v_{ID}}$ este definită de relaţia:

$$v_{ID} = v_I - V_P \qquad 1$$

Ţinând cont de caracteristica de funcţionare din Figura a şi de relaţia de mai sus, comportamentul circuitului este caracterizat de următoarea ecuaţie:

$$v_O = \begin{cases} V_{SAT+} & v_I \geq V_P \\ V_{SAT-} & v_I < V_P \end{cases} \qquad 2$$

din care se observă că circuitul este capabil să sesizeze depăşirea tensiunii de prag $\mathbf{V_P}$ prin modificarea tensiunii de ieşire din valoarea $\mathbf{V_{SAT}^-}$ în valoarea $\mathbf{V_{SAT}^+}$.

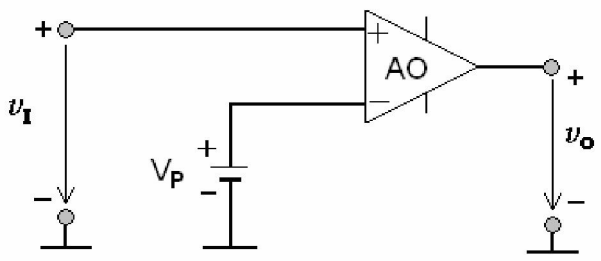

Figura 2. Comparator de tensiune simplu cu AO.

Pentru ca acest comparator să funcţioneze corect, este necesar ca acesta să fie capabil să-şi modifice tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ din valoarea $\mathbf{V_{SAT}^+}$ în valoarea $\mathbf{V_{SAT}^-}$, respectiv invers, foarte rapid. Din acest motiv, în cazul comparatoarelor de tensiune, se utilizează amplificatoare oparaţionale care au parametrul **SR** (S*lew*-R*ate*) de valoare mare. În cazul în care aplicaţia necesită schimbări ale valorii tensiunii $\mathbf{v_O}$ foarte rapide, atunci, în locul amplificatoarelor operaţionale se utilizează circuite integrate speciale, denumite comparatoare (circuitul integrat LM311 este un astfel de comparator), care au un parametru **SR** de valoare foarte mare şi în plus, tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$ ia valori compatibile cu valorile tensiunilor corespunzătoare nivelurilor logice, specifice sistemelor electronice digitale, ceea ce facilitează conectarea acestor comparatoare la sistemele electronice digitale.

Efectul prezenţei semnalelor parazite în comparatoare

În cazul în care peste tensiunea de intrare $\mathbf{v_I}$, care reprezintă semnalul util (cel care poartă informaţia prelucrată de către sistemul electronic), se suprapune un semnal parazit, când $\mathbf{v_I}$ are o valoare apropiată de tensiunea de prag $\mathbf{V_P}$, pot fi generate tranziţii false ale tensiunii $\mathbf{v_O}$, între valorile $\mathbf{V_{SAT}^+}$ şi $\mathbf{V_{SAT}^-}$.

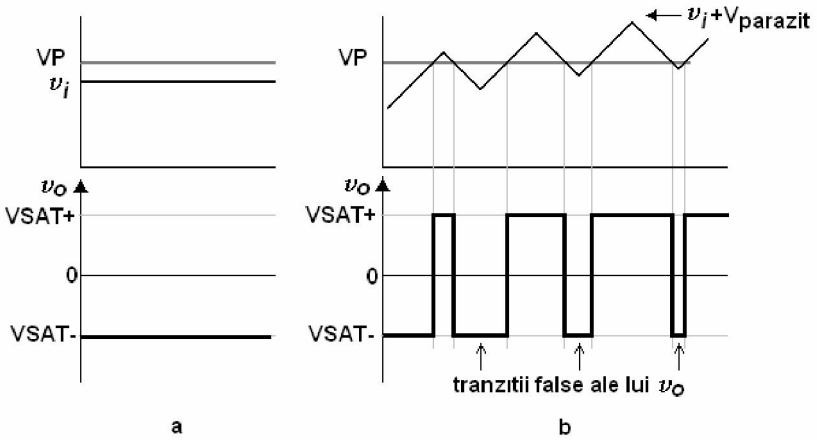

Figura 3. a. Cazul ideal: $\mathbf{v_I}$ nu este afectat de semnale parazite; b. Cazul real: peste $\mathbf{v_I}$ se suprapune un semnal parazit => tranziţii false ale lui $\mathbf{v_O}$.

De exemplu, dacă $\mathbf{v_I} < \mathbf{V_P}$ dar are o valoare foarte apropiată de $\mathbf{V_P}$, atuni, în mod corect tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O} = \mathbf{V_{SAT}^-}$ (vezi Figura 3.a). Dar, datorită semnalului parazit, tensiunea totală care apare pe intrarea neinversoare, care are valoarea $\mathbf{v_I} + \mathbf{V_{parazit}}$, poate manifesta o succesiune rapidă de depăşiri/scăderi în raport cu valoarea de prag $\mathbf{V_P}$, ceea ce generează tranziţiile false amintite (vezi Figura 3.b).

Pentru evitarea tranziţiilor false se introduce un nou tip de comparator – comparatorul cu histerezis, denumit şi circut Trigger Schmidt, prezentat în Figura 4.a.

II. Comparatorul de tensiune cu histerezis (circuitul Trigger Schmidt)

Acest circuit se realizează prin introducerea unei reacţii pozitive la nivelul amplificatorului operaţional, reacţie care determină creşterea amplificării în tensiune a circuitului. Din acest motiv, funcţionarea circuitului cu AO cu reacţie pozitivă este caracterizată de o caracteristică de funcţionare similară cu cea din Figura 1, dar în care tranziţia între cele 2 tensiuni de saturaţie este şi mai abruptă. Din acest motiv, tensiunea de ieşire a amplificatorului poate avea, ca şi în cazul absenţei reacţiei, doar 2 valori distincte: $\mathbf{V_{SAT}^+}$ şi $\mathbf{V_{SAT}^-}$.

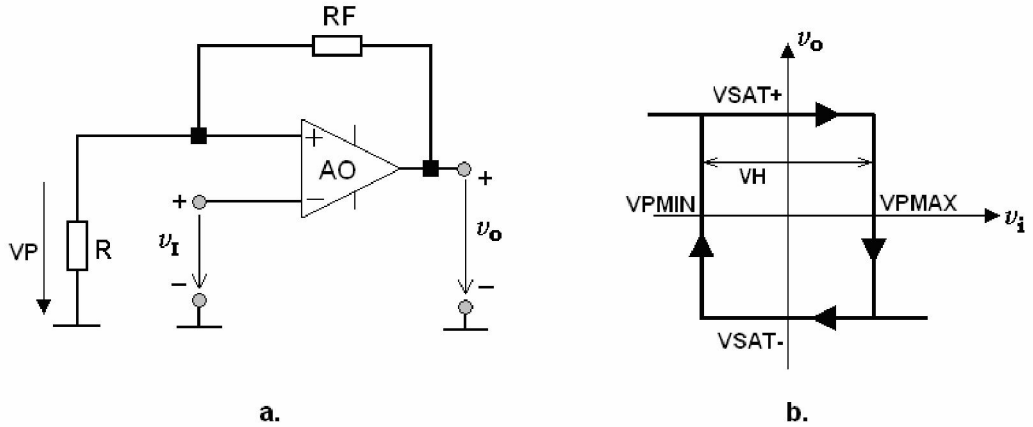

Figura 4. Comparatorul cu histerezis: a - schema electronică; b - caracteristica de funcţionare.

În cazul comparatorului cu histerezis din Figura 4.a, reacţia pozitivă este introdusă de rezistorul $\mathbf{R_F}$. Prin introducerea reacţiei pozitive în circuit, valoarea tensiunii de prag $\mathbf{v_P}$ devine dependentă de valoarea tensiunii de ieşire $\mathbf{v_O}$ a circuitului, conform relaţiei de mai jos:

$$v_P = \frac{R}{R + R_F} \cdot v_O \qquad 3$$

Funcţionarea comparatorului este caracterizată de ecuaţiile 2, în care valoarea tensiunii de prag $\mathbf{V_P}$ nu mai este fixă, ci datorită reacţiei pozitive ia 2 valori distincte, care depind de starea în care se află iniţial comparatorul:

a. dacă iniţial $\mathbf{v_I} < \mathbf{V_P}$, atunci $\mathbf{v_O}=\mathbf{V_{SAT}^+}$; în continuare, dacă $\mathbf{v_I}$ creşte, la un moment dat valoarea sa devine egală cu valoarea curentă a lui $\mathbf{V_P}$, care este notată $\mathbf{V_{PMAX}}$ şi are expresia:

$$V_{PMAX} = \frac{R}{R + R_F} \cdot V_{SAT}^+ \qquad 4.a$$

În continuare, de îndată ce $\mathbf{v_I} > \mathbf{V_{PMAX}}$, comparatorul îşi schimbă starea din $\mathbf{V_{SAT}}^+$ în $\mathbf{V_{SAT}}^-$. În acest moment, valoarea tensiunii de prag $\mathbf{V_P}$ se modifică la o valoare care depinde de $\mathbf{V_{SAT}}^-$ (relaţia 4.b).

b. dacă iniţial $\mathbf{v_I} > \mathbf{V_P}$, atunci $\mathbf{v_O}=\mathbf{V_{SAT}}^-$; în continuare, dacă $\mathbf{v_I}$ scade, la un moment dat valoarea sa devine egală cu valoarea curentă a lui $\mathbf{V_P}$, care este notată $\mathbf{V_{PMIN}}$, definită prin relaţia:

$$V_{PMIN} = \frac{R}{R+R_F} \cdot V_{SAT}^{-} \qquad 4.b$$

În continuare, de îndată ce $\mathbf{v_I} < V_{PMIN}$, comparatorul îşi schimbă starea din $\mathbf{V_{SAT}}^-$ în $\mathbf{V_{SAT}}^+$. În acest moment, valoarea tensiunii de prag $\mathbf{V_P}$ se modifică la o valoare care depinde de $\mathbf{V_{SAT}}^+$ (relaţia 4.a).

Rezumând cele prezentat mai sus, caracteristica de funcţionare a comparatorului cu histerezis este cea prezentată în Figura 4.b, în care diferenţa dintre tensiunile de prag $\mathbf{V_{PMAX}}$ şi $\mathbf{V_{PMIN}}$ se numeşte tensiune de histerezis şi se notează $\mathbf{V_H}$:

$$V_H = V_{PMAX} - V_{PMIN} \qquad 4.c$$

Posibilitatea de modificare a valorii tensiunii de prag $\mathbf{V_P}$ la care comparatorul îşi schimbă starea, elimină tranziţiile false specifice primului tip de comparator şi astfel semnalele parazite nu mai influenţează funcţionarea comparatorului, aşa cum se prezintă în Figura 5. Observând figura respectivă, se remarcă faptul că în primul moment în care tensiunea de intrare depăşeşte tensiunea de prag, ieşirea comparatorului comută din valoarea $\mathbf{V_{SAT}}$+ în $\mathbf{V_{SAT}}$-. Deoarece tensiunea de prag $\mathbf{v_P}$ a comparatorului depinde, datorită reacţiei pozitive, de tensiunea de ieşire $\mathbf{v_O}$, simultan cu modificarea tensiunii de ieşire $\mathbf{v_O}$ se modifică şi tensiunea de prag, din valoarea $\mathbf{V_{PMAX}}$ în $\mathbf{V_{PMIN}}$. Din acest motiv, chiar dacă tensiunea de intrare este afectată de semnalul parazit, rămâne la o valoare superioară faţă de valoarea tensiunii de prag, iar tranziţiile false în tensiunea de ieşire a compratorului sunt eliminate.

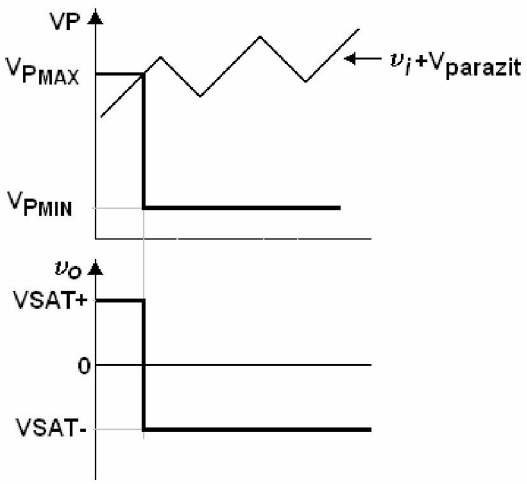

Figura 5. Eliminarea tranziţiilor false în tensiunea $\mathbf{v_O}$, la comparatorul cu histerezis.