

3.3. Caracteristica de transfer în tensiune / Tensiunea de prag

- Caracteristica de transfer în tensiune (CTT) reprezintă dependența statică între tensiunea de intrare în poartă și tensiunea de ieșire, $V_o = f(V_i)$.
- CTT prezintă o importanță deosebită deoarece oferă informații despre valorile efective ale unor mărimi ca: marginea de zgomot, nivelele limită ale tensiunii de intrare, lățimea benzii interzise, etc.
- Pentru circuitele din aceeași familie logică, CTT este specificată pentru inversor.
- În mod curent, majoritatea circuitelor logice prezintă o caracteristică de transfer standard și numai o mică parte dintre ele prezintă o caracteristică specială de tip trigger Schmitt.

♦ CTT ideală

- Caracteristica de transfer în tensiune pentru un inversor ideal este prezentată în figura 3;
- În mod ideal ar trebuie să avem;
 - pentru unu logic la ieșire, $V_{OLmax} = V_{CC}$
 - pentru zero logic la ieșire, $V_{OLmax} = 0$

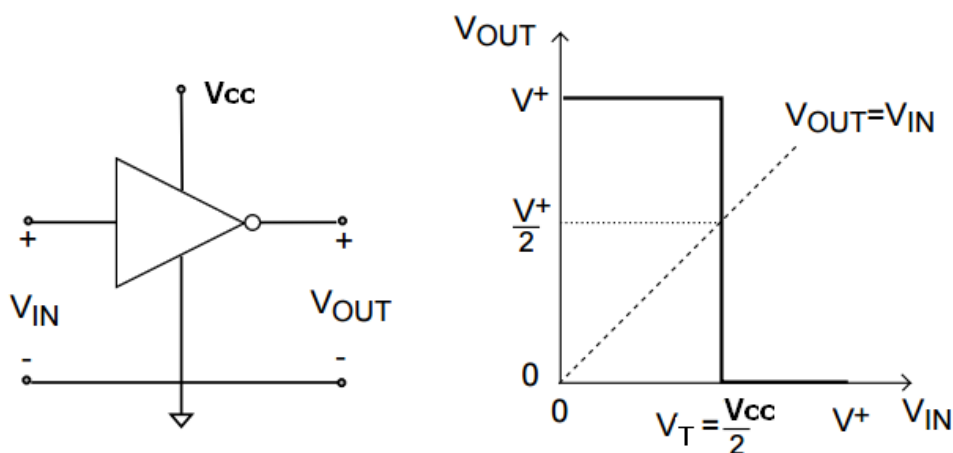


Fig.3. Caracteristica de transfer în tensiune pentru un inversor ideal

- Tensiunea de intrare care determină schimbarea stării logice la ieșire poartă denumirea de tensiune de prag și se notează de regulă cu V_T
- În mod ideal, tensiunea de prag este egală cu $\frac{1}{2}$ din V_{CC}

- Semnalul de la ieșirea unui inversor cu CTT ideală este perfect dreptunghiular, chiar dacă la intrare semnalul este de altă formă, spunem că semnalul de ieșire este regenerat
- În practică, din cauza limitărilor impuse de circuitele electronice, CTT ideală din figura anterioară nu poate fi realizată

◆ CTT normală pentru inversorul real

- Forma caracteristicii normale pentru un inversor real este prezentată în figura 4

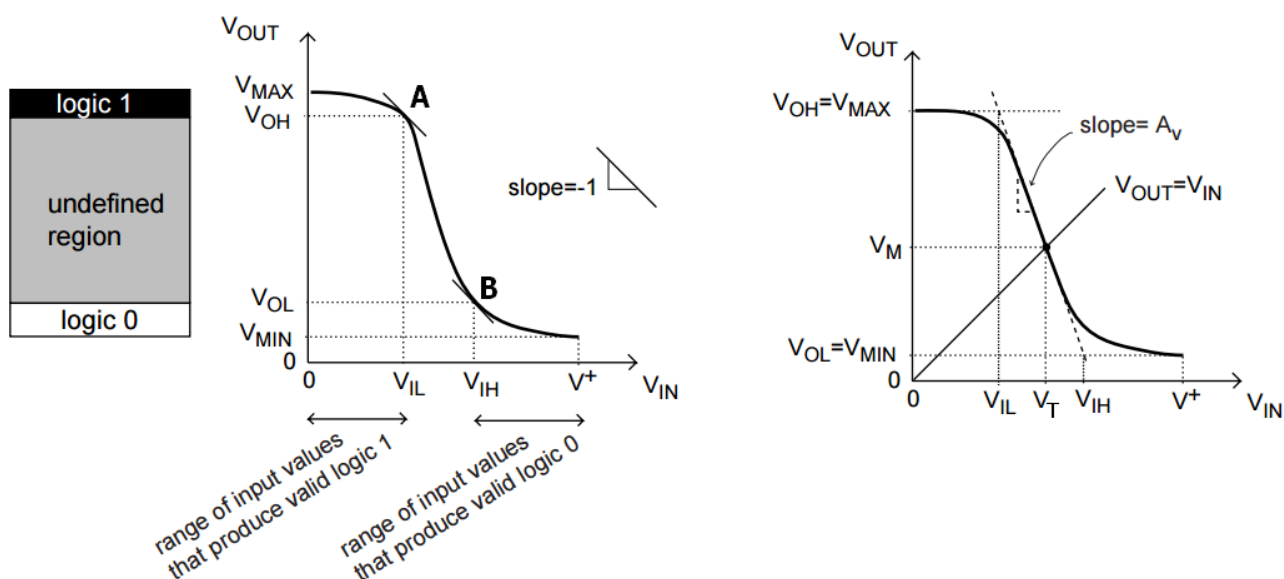
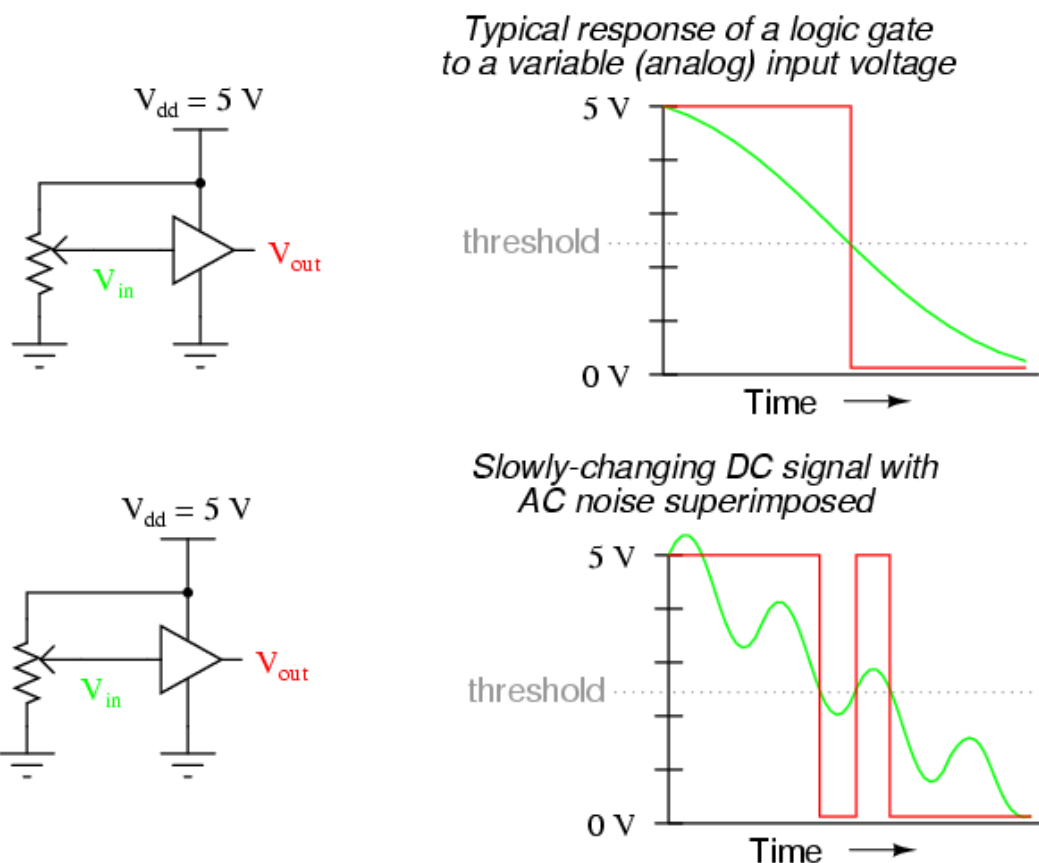


Fig.4. Caracteristica de transfer in tensiune pentru un inversor real, cu caracteristică normală

- Spre deosebire de caracteristica ideală, prezentată anterior, apar o serie de diferențe:
 - Segmentul AB nu mai este vertical din cauza amplificării finite în tensiune pe care o are circuitul electronic folosit în realizarea inversorului;
 - Tensiunea de ieșire pentru unu logic nu mai este egală cu V_{CC} ;
 - Tensiunea de ieșire pentru unu logic nu mai este egală cu zero;
 - Tensiunea de prag nu mai este amplasată la jumătatea tensiunii de alimentare ci la jumătatea segmentului AB, acolo unde panta este egală cu -1;
- Din cauza abaterilor față de modelul ideal apar și benzile de tensiune asociate valorilor de intrare, respectiv pentru valorile de ieșire;
- Trebuie precizat că, pentru fiecare inversor în parte, chiar dacă este din aceeași familie, caracteristica efectivă poate fi deplasată puțin la stânga sau la dreapta, din cauza dispersiilor tehnologice din procesul de producție
- Distanța dintre V_{OH} și V_{OL} este mai mare decât distanța dintre V_{IH} și V_{IL} , motiv pentru care circuitul prezintă o anumită imunitate la zgomot;

- Răspunsul unui repetor logic cu caracteristică normală de transfer, pentru un semnal lent variabil este prezentat în figura de mai jos, pentru două situații: cu și fără zgomot adițional



Cazul familiei TTL standard

- În figura 5 se prezintă CTT tipică pentru inversorul SN7404 (familia TTL standard)

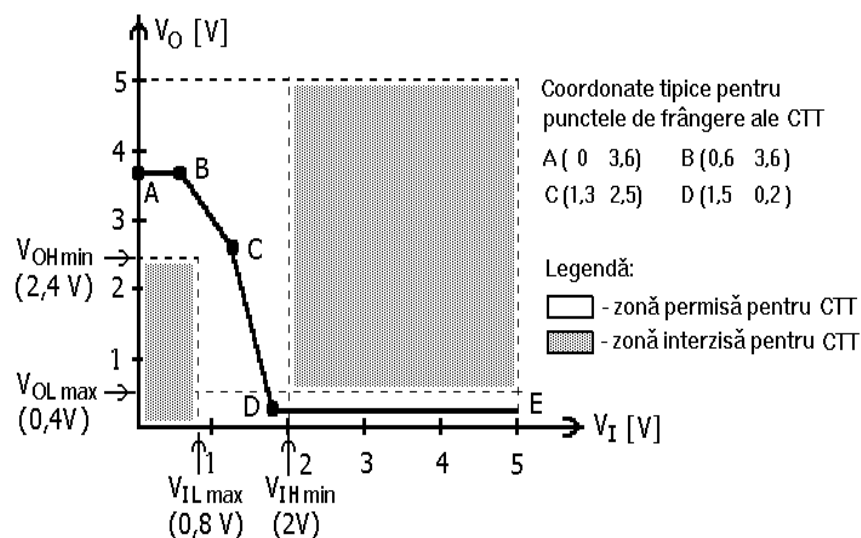


Fig.5. Caracteristica de transfer in tensiune pentru inversorul SN7404

- Analizând caracteristica, se observă că segmentele
 - AB și DE corespund benzilor permise ale tensiunilor de intrare pentru cele două stări logice,
 - BC și CD corespund benzii interzise.
- Dintr-un alt punct de vedere, dacă ne raportăm la un semnal dreptunghiular aplicat la intrare, segmentele AB și DE corespund palierelor, iar BC în prelungire cu CD fronturilor.
- **Marginea de zgomot** efectivă se determină observând că semnalul sumă (semnal util + zgomot), nu trebuie să depășească abscisa punctului C pentru "unu logic", respectiv D pentru "zero logic".
- **Nivelele de tensiune** garantate pentru intrare (0,8V și respectiv 2V), sunt, așa după cum se vede în figură, mult în afara zonei interzise efective, în scopul de a reduce efectul variațiilor de temperatură și dispersia tehnologică în buna funcționare a porții. În practică zona interzisă este considerată acoperitor în intervalul $0,8V \div 2V$.
- **Tensiunea de prag** reprezintă acea valoare a tensiunii de intrare care, dacă este depășită, poate duce la schimbarea stării logice a ieșirii.
 - *Tensiunea de prag realizează separarea stărilor logice de la intrare pentru regimul dinamic.*
 - Pe caracteristica de transfer, tensiunea de prag este situată la mijlocul segmentului CD.
 - Dacă tensiunea de intrare este menținută în regiunea CD, există riscul de apariție a unor oscilații de frecvență relativ mare la ieșirea circuitului.
 - Pentru a evita amorsarea acestor oscilații, trebuie ca durata de traversare a zonei interzise (segmentul CD), de către semnalul de intrare, să nu depășească 40÷50 ns. În consecință, se recomandă ca durata fronturilor de atac ale semnalului de intrare să fie sub 50 ns. Cu cât caracteristica de transfer va fi mai verticală, se vor putea utiliza fronturi de atac mai lungi.

Din cele prezentate mai sus, se poate trage concluzia că CTT standard prezintă două particularități importante:

- are o singură tensiune de prag, indiferent dacă tensiunea de intrare evoluează în sens crescător sau în sens descrescător;
- în apropierea tensiunii de prag, panta CTT nu este perfect verticală, de aici necesitatea ca semnalele de atac ale acestor circuite să prezinte fronturi cu durata cât mai redusă.

◆ CTT de tip trigger Schmitt pentru inversorul real

- O altă caracteristică folosită pentru circuitele logice este caracteristica de tip trigger Schmitt, CTT-TS, în care este introdusă, în mod deliberat, o fereastră de histerezis așa cum se prezintă în figura 6;

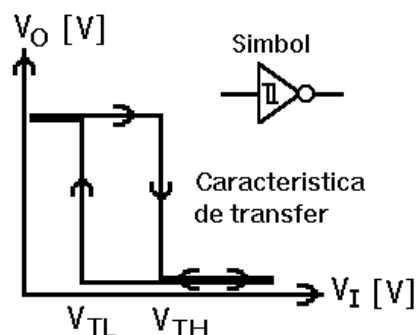


Fig. 6: Simbolul și caracteristica de transfer pentru inversorul trigger Schmitt SN7414

- Orice poartă logică poate fi realizată cu CTT normală sau cu caracteristică trigger Schmitt, CTT-TS.
- Pentru a face distincție între cele două tipuri de circuite, în cazul circuitelor cu CTT-TS, în interiorul simbolului se introduce un semn grafic asemănător ferestrei de histerezis;
- Forma particulară a caracteristicii de tip trigger Schmitt face ca, la circuitele cu astfel de caracteristică, să apară următoarele proprietăți:
 - semnalele de intrare **pot avea fronturi oricât de lente**, zona interzisă fiind foarte mică, traversare ei este posibilă fără amorsarea oscilațiilor;
 - existența a două tensiuni de prag:
 - V_{TH} - prag valabil pentru sensul crescător al tensiunii de intrare
 - V_{TL} - prag valabil pentru sensul descrescător al tensiunii de intrare;
 - apariția histerezisului (drumuri diferite de parcurgere a caracteristicii de transfer în funcție de sensul de evoluție al tensiunii de intrare) are ca efect creșterea marginii reale de zgomot.
 - Spre exemplu, pentru inversorul SN7414,
 - tensiunea de intrare admisă pentru a obține zero logic la ieșire poate urca până la cca. 1,6V
 - tensiunea de intrare admisă pentru a obține unu logic la ieșire poate coborî până la cca. 0,8V.
 - Creșterea marginii de zgomot a fost obținută prin suprapunere în zona centrală a benzilor de tensiune asociate stărilor logice de la intrarea circuitului.
- Dacă luăm ca exemplu inversorul normal 7404 și inversorul trigger Schmitt 7414, constatăm că:
 - ambele circuite realizează aceeași funcție logică – cea de inversor;
 - diferențele în funcționare sunt de natură electrică și pot fi puse în evidență numai în anumite situații:
 - dacă semnalul de intrare este dreptunghiular între funcționarea celor două circuite nu putem sesiza nicio diferență;

- dacă semnalul de intrare este lent variabil și/sau afectat de zgomot, între funcționarea celor două circuite se pot vedea diferențe semnificative – circuitul cu CTT-TS se comportă mult mai bine;
- Circuitele cu caracteristică TS sunt mult mai puțin influențate de prezenta perturbațiilor;
- De regulă, circuitele cu caracteristică TS sunt folosite pentru prelucrarea semnalelor cu fronturi lente sau a semnalelor puternic afectate de zgomot.
- O situație comparativă a răspunsului unui inversor normal și cea a unui inversor TS, în prezența unui semnal de intrare atipic, este prezentată în figura

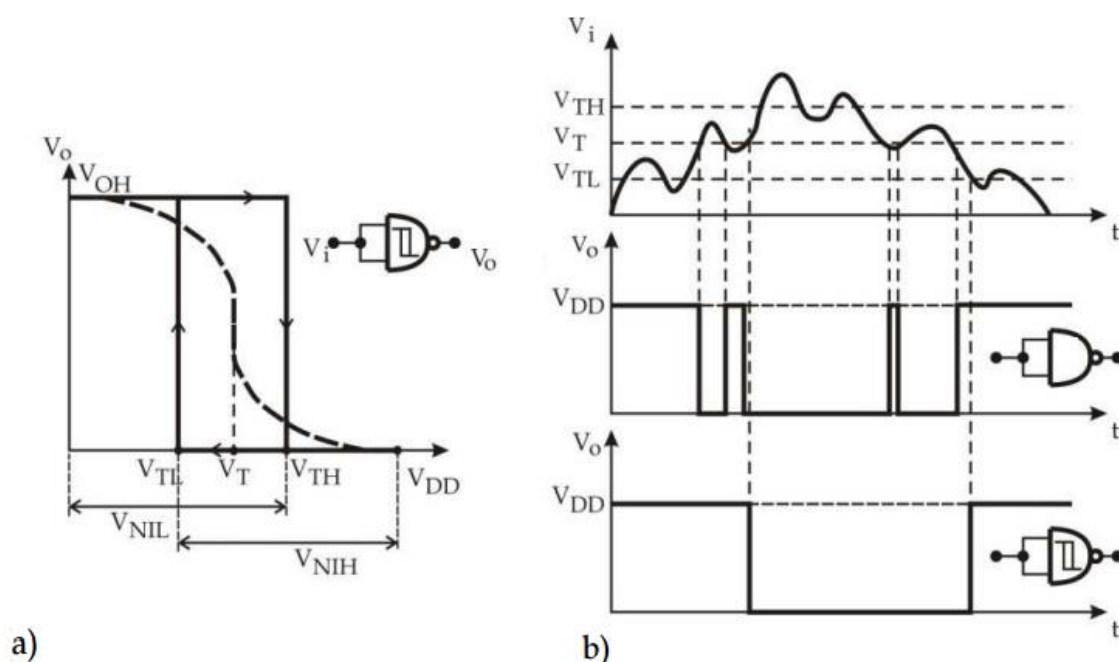


Fig. 7: Comparație între răspunsul inversorului normal și cea a inversorului trigger Schmitt

În final facem precizarea că circuitele logice cu CTT-TS au un comportament net superior celor cu caracteristică normală. Se pune în mod firesc întrebarea de ce nu sunt folosite numai astfel de circuite. Răspunsul este că, implementarea circuitelor cu CTT-TS necesită mai multe tranzistoare față de cele cu CTT normală.

Așadar, circuitele cu CTT-TS se folosesc, de regulă, ca circuite de interfață între sistemul digital și mediul extern (deoarece semnalele ce vin din afara sistemului pot fi afectate ca formă sau pot fi afectate de zgomot), iar circuitele cu CTT normală se folosesc în miezul sistemului digital (unde avem de regulă semnale digitale corect definite și formate).

◆ Aplicație la caracteristica CTT-TS: Oscilatorul de relaxare

- Utilizând un inversor TS este relativ ușor de implementat un oscilator digital denumit oscilator de relaxare;
- Schema tipică pentru acest oscilator este prezentată în figura 8;

- Principalele caracteristici sunt:
 - Oscilațiile se amorsează numai dacă inversorul este de tip trigger Schmitt;
 - Frecvența semnalului generat nu este stabilă în timp \Rightarrow nu poate fi folosit în aplicații de precizie;
 - Frecvența semnalului generat este dependentă de circuitul RC extern;
 - Circuitul este folosit pentru generarea de semnale cu frecvență mică sau medie;
 - Semnalul de ieșire nu este simetric (durata de unu nu este egală cu durata de zero);

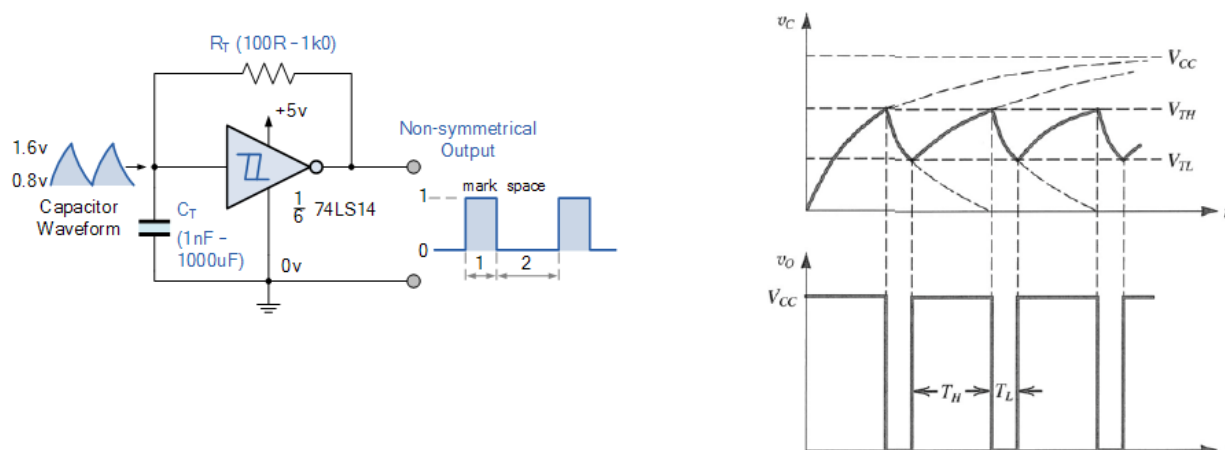


Fig. 8: Oscilatorul de relaxare implementat cu un inversor trigger Schmitt

- În funcționarea schemei din figura 8 se disting următoarele etape:
 - Inițial, condensatorul este descărcat, tensiunea la bornele sale este nulă iar inversorul vede zero logic la intrare \Rightarrow ieșirea trece în unu logic;
 - Etapa de încărcare a condensatorului se realizează dacă:
 - ieșirea din inversor este în unu logic;
 - tensiunea de la bornele condensatorului, aflată în regim de creștere, este sub tensiunea de prag superior V_{TH} ;
 - Trecerea ieșirii logice a inversorului în starea LOW în momentul în care tensiunea de pe condensator atinge valoarea de prag superior V_{TH} ;
 - inversorul vede zero logic la intrare \Rightarrow ieșirea sa va trece în unu logic;
 - Etapa de descărcare a condensatorului se realizează dacă:
 - ieșirea din inversor este în zero logic;
 - tensiunea de la bornele condensatorului aflată în regim de scădere, este deasupra tensiunii de prag inferior V_{TL} ;

- Trecerea ieșirii logice a inversorului în starea HIGH în momentul în care tensiunea de pe condensator atinge valoarea de prag inferior V_{TL} ;
 - Funcționarea se repetă începând cu pasul 1;
- Din figura 8 se poate vedea că încărcarea/descărcarea condensatorului se face între cele două tensiuni de prag, cu excepția primei încărcări care pleacă de la o tensiune nulă;