



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

Sistemes seqüencials síncrons: El diagrama d'estats d'un control de volum

| | |
|---------------------|---|
| Cognoms, nom | Martí Campoy, Antonio (amarti@disca.upv.es) |
| Departament | Informàtica de Sistemes i Computadors |
| Centre | Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Informàtica |



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



1 Resum de les idees clau

En aquest article desenvoluparàs el procés a seguir per construir el **Diagrama d'Estats** necessari per a dissenyar un sistema seqüencial síncron (SSS), seguint el model d'autòmat de Moore. Per a il·lustrar aquest procés i facilitar l'adquisició de coneixements i capacitats, utilitzaràs com a exemple el disseny d'un senzill control de volum.

El disseny d'SSS inclou varis processos, i en cadascun d'ells existeixen diferents alternatives. És impossible abastar-les totes en un breu document, i tractar d'explicar-les simultàniament només produiria confusió. Per això en aquest document treballaràs només la primera part del disseny d'un SSS, és a dir, la construcció del diagrama d'estats. Però en aquesta primera part també hi ha opcions. De les diferents possibilitats, i que pots trobar ben explicades en la bibliografia, estudiaràs el disseny dels anomenats autòmats de Moore i utilitzaràs expressions algebraiques en les transicions del diagrama d'estats,

Aquestes decisions no s'han pres perquè les opcions escollides siguin millor que les alternatives, sinó perquè són més senzilles d'entendre o d'aplicar a aquest cas concret, i permeten abordar amb posterioritat altres alternatives de manera autònoma.

Per a poder adquirir els coneixements i habilitats presentades en aquest article, has de tenir els coneixements previs presentats en la taula 1.

Taula 1. Coneixements previs

| Coneixements previs |
|---|
| 1. Funcions lògiques booleanes |
| 2. La taula de veritat i els seus components |
| 3. Circuits combinacionals i seqüencials |
| 4. Conèixer teòricament el passos necessaris per dissenyar un SSS |

2 Objectius

Una vegada acabes de llegir aquest article docent i reproduït els exemples presentats, hauràs de ser capaç de **dissenyar** el diagrama d'estats d'un sistema seqüencial síncron, **dividint** el procés de construcció d'aquest diagrama en els diferents passos, i **aplicar** els diferents procediments descrits en aquest document. El punt de partida per aquest disseny serà una **descripció** no formal de la funcionalitat volguda per al sistema, i el punt final serà l'**obtenció** d'una representació gràfica i sense ambigüitats del funcionament del circuit. Aquesta representació gràfica rep el nom de **Diagrama d'estats**.



3 Introducció

Aquesta és la descripció del sistema que es vol dissenyar:

Es tracta del control de volum d'un reproductor de música, que disposa de tres entrades i dues eixides. L'entrada anomenada V pren valor 1 quan l'usuari vol modificar el volum. L'entrada P/\bar{B} pren valor 1 si l'usuari vol **P**ujar el volum, i pren valor 0 si l'usuari vol **B**aixar el volum. Finalment, l'entrada S pren valor 1 quan l'usuari vol posar el volum a 0 de manera directa.

Respecte de les eixides, E_1 i E_0 , s'empren per codificar els quatre nivells de volum possible, des de 0 que representa silenci, fins a 3 que representa el màxim volum.

El comportament del circuit ha de ser el següent:

- Si l'usuari activa l'entrada V i al mateix temps l'entrada P/\bar{B} pren valor 1, l'eixida de volum s'ha d'incrementar en una unitat, sense superar el valor de 3.
- Si l'usuari activa l'entrada V i al mateix temps l'entrada P/\bar{B} pren valor 0, l'eixida de volum ha de reduir-se en una unitat, sense baixar de zero.
- Si s'activa l'entrada S , el nivell de l'eixida de volum ha de posar-se a valor zero, independentment de l'estat de la resta d'entrades.

4 Disseny del SSS com a autòmat de Moore

Donades les especificacions anteriors, has de dissenyar un circuit seqüencial síncron que realitze les tasques indicades. Aquest circuit ha de seguir el model d'autòmat de Moore. En l'autòmat de Moore l'estat següent depèn de l'estat actual i de les entrades, mentre que les eixides depenen únicament de l'estat actual. En les eixides és on es troba la diferència amb els autòmats de Mealy.

Els passos per a dissenyar i construir un SSS són: interfície, diagrama d'estats, taula d'estats, funció d'excitació, funció de transició i implementació dels circuits. En aquest document estudiaràs els dos primers passos, el disseny de la interfície i la construcció del diagrama d'estats.

4.1 Interfície

La interfície és una representació gràfica i simbòlica del circuit a dissenyar, especificant completament les entrades i les eixides del circuit, amb els seus noms. És un pas senzill però important, per ser la primera vegada que veurem el nostre circuit. En la Figura 1 pots veure la interfície, i adonar-te de tres coses molt importants: els noms de les entrades i eixides s'escriuen dins de la caixa, i no mai fora; hi apareix una entrada de rellotge, com tenen tots el circuits seqüencials; i normalment les entrades es posen a l'esquerra i les eixides a la dreta.

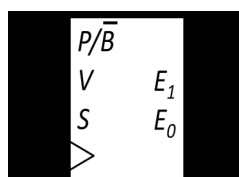


Figura 1. Interfície del sistema



4.2 Diagrama d'estats

En aquest apartat construïrem junts el diagrama d'estats per al sistema exemple.

4.2.1 El diagrama d'estats

El diagrama d'estats és el segon pas, i pot ser el més complicat de tots, ja que el que pretenem fer és traduir la llista de "desitjos", és a dir, les especificacions, a una representació formal.

El diagrama ens diu de manera gràfica com funciona, o com es comporta el nostre sistema. Si el diagrama d'estats està ben construït, no hi ha possibilitat de malentendre o confondre el funcionament del sistema. El diagrama d'estats és als circuits seqüencials el mateix que la taula de veritat és als circuits combinacionals.

En el diagrama d'estats el senyal de rellotge està implícit, i per tant, no es dibuixa. Però el sistema canvia d'un estat a l'altre només quan es produeix un flanc de rellotge, com bé ja saps.

Dos són els elements que formen un diagrama d'estats: els estats i les transicions. Els estats es representen per cercles i tenen un nom simbòlic que identifica a cadascun d'ells, i un valor per les eixides. Les transicions es representen per fletxes, i tenen associades unes expressions algebraïques que diuen quin valor de les entrades fa botar al sistema d'un estat a l'altre. Però anem a començar a construir el diagrama i segur que tot el que t'he contat et queda clar.

4.2.2 Construcció del diagrama d'estats

En primer lloc, has de triar un estat del sistema i començar la construcció del diagrama d'estats per ell. Qualsevol estat és bo per començar, però crec que estaràs d'acord amb mi que una bona opció és començar per l'estat en què el volum és zero, és a dir, silenci. I "silenci" pot ser un bon nom per a aquest estat. I quina serà l'eixida d'aquest estat? Ho tens clar, no? L'eixida és zero, però en binari escriurem 00. La Figura 2 representa el primer pas en la construcció del diagrama d'estats.

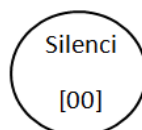


Figura 2. Primer estat del sistema

Fins ara ha sigut prou fàcil, veritat? La cosa es complica en aquest moment. Ara hem d'afegir nous estats. En alguns problemes, és molt fàcil veure quin són els estats que tindrà el sistema, però hi ha d'altres que no ens faciliten el treball. Per això, el millor que pots fer és ser sistemàtic. De l'estat que hem creat anirem cap a altres estats en funció del valor de les entrades, d'acord? Doncs, construïrem una taula on posarem totes les possibles combinacions de les entrades i l'expressió algebraica del miniterme corresponent, i també anotarem el que cal fer per a cadascuna de les combinacions, i sabent el que cal fer, sabrem l'estat al que cal anar. La Taula 2 mostra totes les possibles combinacions de les entrades, i per a entendre-la millor, una xicoteta explicació de què vol dir cada combinació. A continuació, la taula diu el que cal fer i quin serà l'estat destinació. També mostra les expressions algebraïques de cadascun dels minitermes.



Taula 2. Acció a realitzar i estat destinació en funció de les entrades des de l'estat "silenci"

| | $S \ V \ P/\bar{B}$ | Significat de les entrades | Què volem fer? | Estat destinació des de l'estat "Silenci" |
|---|---|---|--|--|
| 0 | $\bar{0} \ \bar{0} \ \bar{0}$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari no ha activat cap botó | Quedar-se com estem. | "Silenci" |
| 1 | $\bar{0} \ \bar{0} \ 1$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | S'ha activat l'entrada per pujar el volum, però no s'ha activat l'entrada V | Quedar-se com estem. | "Silenci" |
| 2 | $\bar{0} \ 1 \ \bar{0}$ $\bar{S} \cdot V \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 0, ens diu que vol baixar el volum | Volem baixar el volum, però no el podem ficar per baix de silenci | Per tant l'estat destinació és "Silenci" |
| 3 | $\bar{0} \ 1 \ 1$ $\bar{S} \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 1, ens diu que vol pujar el volum | Volem pujar el volum en una unitat. | Cal buscar un nom per a aquest estat, que pot ser " Volum 1 " |
| 4 | $1 \ \bar{0} \ \bar{0}$ $S \cdot \bar{V} \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari ha activat l'entrada de silenci | Volem posar el volum a zero. | "Silenci" |
| 5 | $1 \ \bar{0} \ 1$ $S \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de pujar el volum, però no la de canviar el volum | Volem posar el volum a zero, | "Silenci" |
| 6 | $1 \ 1 \ \bar{0}$ $S \cdot V \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de canviar el volum, i ens diu que baixem el volum | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |
| 7 | $1 \ 1 \ 1$ $S \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | Totes les entrades actives... | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |

Com que han aparegut **dues** transicions i un nou estat, cal actualitzar el diagrama d'estats. En les transicions cal indicar quina és l'entrada que provoca el canvi d'estat indicat per la transició. A més a més, el nou estat cal que tinga especificades les seues eixides. Si aquest estat anomenat "Volum 1" és el següent a "Silenci", la seua eixida haurà de ser 01₂, no? La Figura 3 mostra el nou diagrama d'estats, amb el nou estat i les transicions.

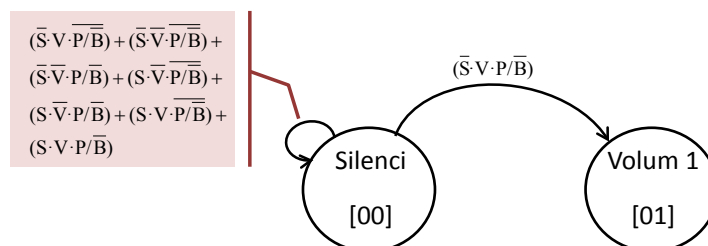


Figura 3. Diagrama d'estats amb dos estats i transicions des de l'estat silenci



Pots veure en la Figura 3 que la transició que torna a l'estat silenci és la suma lògica (OR) de tots els minitermes que representen les entrades per a les quals, des de l'estat silenci, cal anar a l'estat silenci.

Com que tenim un nou estat en el diagrama, cal repetir el procés que hem fet abans per afegir les transicions que eixiran d'aquest estat "Volum 1" i pot ser també per a afegir nous estats. És a dir, construirem una taula on escriurem totes les possibles entrades i l'estat al qual volem anar per a cadascuna d'aquestes entrades des de l'estat "Volum 1". Aquesta és la Taula 3.

Taula 3. Acció a realitzar i estat destí en funció de les entrades des de l'estat "Volum 1"

| | $S \ V \ P/\bar{B}$ | Significat de les entrades | Què volem fer? | Estat destinació des de l'estat "Volum 1" |
|---|--|---|--|--|
| 0 | $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari no ha activat cap botó | Quedar-se com estem. | "Volum 1" |
| 1 | $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | S'ha activat l'entrada per pujar el volum, però no s'ha activat l'entrada V | Quedar-se com estem. | "Volum 1" |
| 2 | $\bar{S} \cdot V \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 0, ens diu que vol baixar el volum | Volem baixar el volum en una unitat. | Per tant l'estat destinació és "Silenci" |
| 3 | $\bar{S} \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 1, ens diu que vol pujar el volum | Volem pujar el volum en una unitat. | Cal buscar un nom per a aquest estat, que pot ser " Volum 2 " |
| 4 | $S \cdot \bar{V} \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | L'usuari ha activat l'entrada de silenci | Volem posar el volum a zero. | "Silenci" |
| 5 | $S \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de pujar el volum, però no la de canviar el volum | Volem posar el volum a zero, | "Silenci" |
| 6 | $S \cdot V \cdot \overline{P/\bar{B}}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de canviar el volum, i ens diu que baixem el volum | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |
| 7 | $S \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | Totes les entrades actives... | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |

Ara tornem a dibuixar el diagrama d'estats, afegint-li el nou estat "Volum 2" i les transicions corresponents. Has de tenir en compte que apareixen **tres** noves transicions. Pots veure aquestes transicions i el nou estat en la Figura 4. Per cert, l'eixida del nou estat és 10_2 , que és el nivell següent de volum.

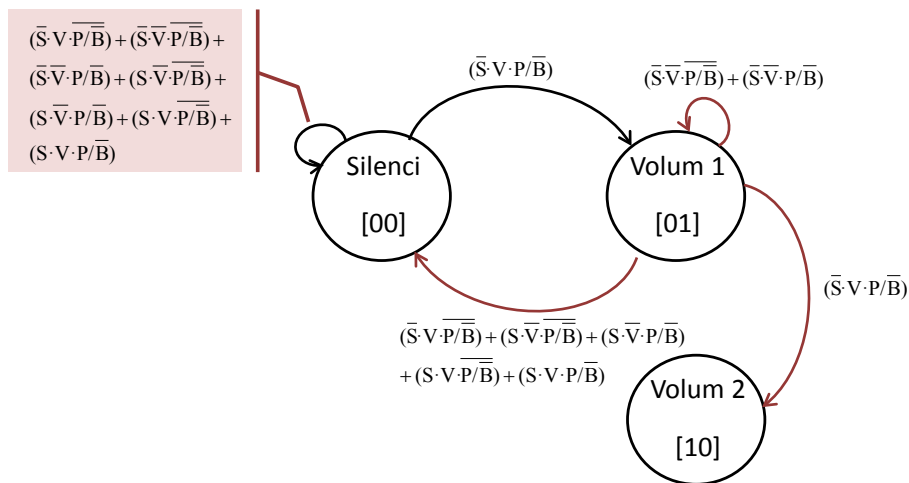


Figura 4. Diagrama d'estats amb tres estats i les noves transicions des de l'estat Volum 1

Com que ha aparegut un nou estat, "Volum 2", cal repetir el procés per obtenir les transicions que ixen d'aquest estat i, pot ser, nous estats. Construïm la Taula 4 que ens diu que cal fer quan estem en l'estat "Volum 2" en funció de les entrades.

Taula 4. Acció a realitzar i estat destinació en funció de les entrades des de l'estat "Volum 2"

| | S V P/B | Significat de les entrades | Què volem fer? | Estat destinació des de l'estat "Volum 2" |
|---|--|--|--|--|
| 0 | $\bar{0} \ \bar{0} \ \bar{0}$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot \bar{P} \cdot \bar{B}$ | L'usuari no ha activat cap botó | Quedar-se com estem. | "Volum 2" |
| 1 | $\bar{0} \ \bar{0} \ 1$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot P \cdot \bar{B}$ | S'ha activat l'entrada per pujar el volum, però no s'ha activat l'entrada V | Quedar-se com estem. | "Volum 2" |
| 2 | $\bar{0} \ 1 \ \bar{0}$ $\bar{S} \cdot V \cdot \bar{P} \cdot \bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/B val 0, ens diu que vol baixar el volum | Volem baixar el volum en una unitat | Per tant l'estat destinació és "Volum 1" |
| 3 | $\bar{0} \ 1 \ 1$ $\bar{S} \cdot V \cdot P \cdot \bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/B val 1, ens diu que vol pujar el volum | Volem pujar el volum en una unitat. | Cal buscar un nom per a aquest estat, que pot ser " Volum 3 " |
| 4 | $1 \ \bar{0} \ \bar{0}$ $S \cdot \bar{V} \cdot \bar{P} \cdot \bar{B}$ | L'usuari ha activat l'entrada de silenci | Volem posar el volum a zero. | "Silenci" |
| 5 | $1 \ \bar{0} \ 1$ $S \cdot \bar{V} \cdot P \cdot \bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de pujar el volum, però no la de canviar el volum | Volem posar el volum a zero, | "Silenci" |
| 6 | $1 \ 1 \ \bar{0}$ $S \cdot V \cdot \bar{P} \cdot \bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de canviar el volum, i ens diu que baixem el volum | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |
| 7 | $1 \ 1 \ 1$ $S \cdot V \cdot P \cdot \bar{B}$ | Totes les entrades actives... | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant anem a silenci. | "Silenci" |

Amb la informació de la Taula 4 podem afegir el nou estat al diagrama d'estats, i les **quatre** noves transicions. Ho tens en la Figura 5, i les eixides de l'estat 3 són 11_2 .

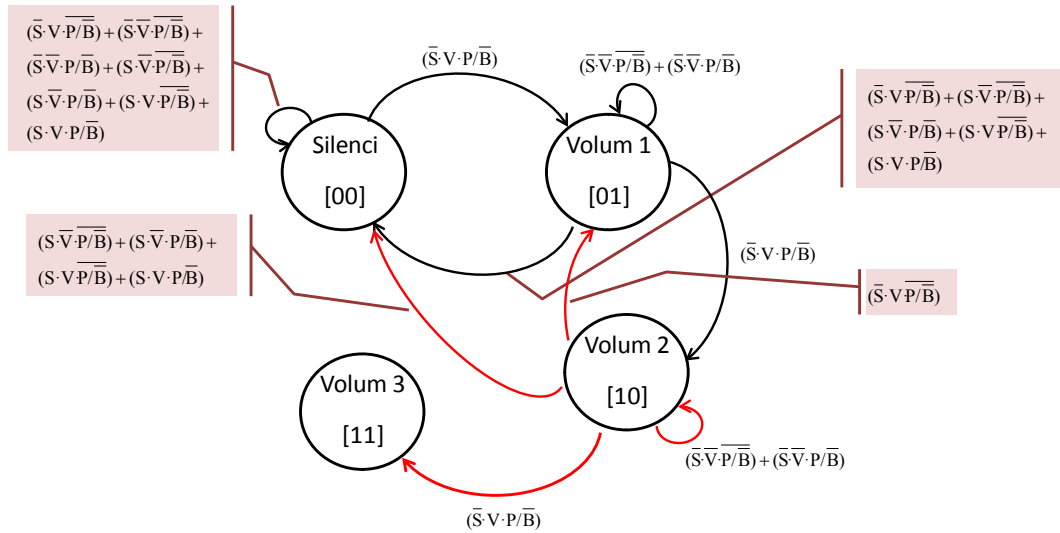


Figura 5. Diagrama d'estats incloent l'estat Volum 3 i les transicions per a l'estat Volum 2

Ara repetim novament el procés per al nou estat "Volum 3". La Taula 5 mostra el que cal fer quan estem a l'estat "Volum 3" en funció de les entrades.

Taula 5. Acció a realitzar i estat destinació en funció de les entrades des de l'estat "Volum 3"

| | S V P/B | Significat de les entrades | Què volem fer? | Estat destinació des de l'estat "Volum 3" |
|---|--|---|--|---|
| 0 | $\bar{0} \bar{0} \bar{0}$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot \bar{P}/\bar{B}$ | L'usuari no ha activat cap botó | Quedar-se com estem. | "Volum 3" |
| 1 | $\bar{0} \bar{0} 1$ $\bar{S} \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | S'ha activat l'entrada per pujar el volum, però no s'ha activat l'entrada V | Quedar-se com estem. | "Volum 3" |
| 2 | $\bar{0} 1 \bar{0}$ $\bar{S} \cdot V \cdot \bar{P}/\bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 0, ens diu que vol baixar el volum | Volem baixar el volum en una unitat | Per tant l'estat destí és "Volum 2" |
| 3 | $\bar{0} 1 1$ $\bar{S} \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | L'usuari ha activat el canvi de volum, i com P/\bar{B} val 1, ens diu que vol pujar el volum | Volem pujar el volum en una unitat, però ja estem al màxim. Es quedem com estem. | "Volum 3" |
| 4 | $1 \bar{0} \bar{0}$ $S \cdot \bar{V} \cdot \bar{P}/\bar{B}$ | L'usuari ha activat l'entrada de silenci | Volem posar el volum a zero. | "Silenci" |
| 5 | $1 \bar{0} 1$ $S \cdot \bar{V} \cdot P/\bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de pujar el volum, però no la de canviar el volum | Volem posar el volum a zero, | "Silenci" |
| 6 | $1 1 \bar{0}$ $S \cdot V \cdot \bar{P}/\bar{B}$ | Estan actives l'entrada de silenci i la de canviar el volum, i ens diu que baixem el volum | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant silenciem el sistema. | "Silenci" |
| 7 | $1 1 1$ $S \cdot V \cdot P/\bar{B}$ | Totes les entrades actives... | Però l'entrada de Silenci és prioritària, per tant anem a silenci. | "Silenci" |



En aquesta taula apareixen **tres** transicions, però cap estat nou. Açò és molt important, perquè ens diu que hem acabat de construir el diagrama d'estat. Així doncs, només resta afegir les transicions que apareixen en la Taula 5 i que pots veure en la Figura 6.

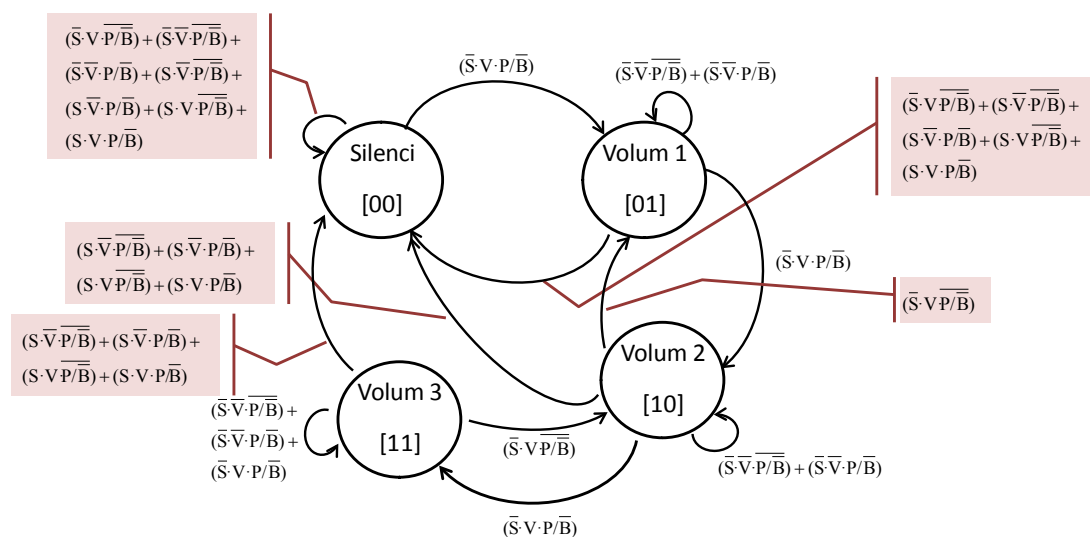


Figura 6. Diagrama d'estats complet

I d'aquesta manera hem completat el diagrama d'estats per al problema plantejat!

5 Conclusions

El primer pas per a construir un SSS (sistema seqüencial síncron) és el disseny del diagrama d'estats, amb permís de la interfície, és clar. En aquest article has pogut experimentar una manera sistemàtica i segura de dissenyar un diagrama d'estats. Hem utilitzat un exemple senzill, el control de volum d'un reproductor de música.

Recorda, per a cada estat que tingues en el diagrama d'estats, cal fer una taula amb totes les possibles entrades i l'estat al que cal anar per a cadascuna d'elles. D'aquesta manera obtindràs noves transicions i estats. El procés es repeteix fins que deixen d'aparèixer estats.

Cal que recordes que hi ha moltes variants de diagrames d'estats, amb expressions simplificades o valoracions numèriques per indicar la causa de la transició. Però totes aquestes variants expressen el mateix concepte: l'evolució d'un SSS, és a dir, per quina raó l'SSS canvia d'un estat a l'altre.

6 Bibliografia

6.1 Llibres:

- [1] [John F. Wakerly](#) *Digital design : principles and practices*, Prentice Hall. 2006
- [2] Antonio Lloris Ruiz; Alberto Prieto Espinosa; Luis Parrilla Roure *Sistemas digitales*, Aravaca, Madrid : McGraw-Hill/Interamericana de España. 2003