Generadores de Sen˜ales de Reloj Para Procesadores SoC

Luis Juventino Velasquez Hidalgo, M.Osvaldo Espinosa Sosa,

Dr. Victor Hugo Ponce Ponce

Centro de Investigacio´n en Computacio´n

Av. Juan de Dios Ba´tiz, esq. M guel Otho´n de Mendiza´bal

Col. Nueva Industrial Vallejo, Alcald´ıa Gustavo A. Madero, C.P. 07738, CDMX Unidad Profesional Adolfo Lo´pez Mat´eos (Zacat´enco) [lvelasquezh2024@cic.ipn.mx](mailto:lvelasquezh2024@cic.ipn.mx)

{vponce@cic.ipn.mx,[espinosa@cic.ipn.mx}@cic.ipn.mx](mailto:espinosa@cic.ipn.mx) [http://www.cic.ipn.mx](http://www.cic.ipn.mx/)

**Abstract.** Las sen˜ales de reloj son fundamentales para el funcionamiento de todos los procesadores. Este trabajo explora la creacion de una sen˜al de reloj digital utilizando un *Phase-lock loop* **(PLL)**.

El area de *System on Chip* **(SoC)** es un campo muy cerrado, pero es un campo muy amplio y requerido

para distintas aplicaciones. Por lo que uno de los objetivos del presente trabajo es disen˜ar el PLL en un lenguaje de descripcio´n de hardware para generar una referencia de dichas tecnologias.

**Keywords:** FPGA, SoC, Sistemas Embebidos, Microprocesadores, PLL, Microtecnologias

# 1 Introduccio´n

Un procesador es un circuito integrado encargado de ejecutar instrucciones y procesar datos en un sistema inform´atico. Se le llama SoC a un dispositivo que integra todos los componentes esenciales de un sistema, por ejemplo; memoria, controladores, procesador y otros bloques funcionales. El avance de las microtecnolog´ıas ha echo que para concretar el disen˜o de un SoC sea necesario usar un *hardware description language* **(HDL)** para describir el comportamiento del sistema en lugar de describir la circuiter´ıa necesaria.

El reloj es uno de los componente principales en le disen˜o de SoC’s. El reloj se encarga de generar sen˜ales peri´odicas estables esenciales para coordinar todos los componentes del sistema. La linea de investigaci´on de la propuesta de tesis est´a encaminada al desarrollo de un reloj integrable a un SoC.

En los SoC los relojes usualmente se implementa usando sensores *On-chip*, generadores de reloj *On-chip* o haciendo uso de PLL’s siendo estos u´ltimos en los que se enfoca la propuesta de tesis. El principal problema es que el ecosistema de desarrollo en HDL es muy cerrado y es comu´n que los componentes individuales no sean transparentes. La propuesta de est´a tesis es **crear un disen˜o de reloj en HDL** para uso general y de acceso libre.

Un PLL se evalu´a principalmente con dos metricas: *jitter* y *Phase noise* (Ruido de fase). Como la finalidad del PLL es fungir como reloj, a estas metricas se le an˜ade la frecuencia maxima. El jitter; ocasionalmente referido como *time interval error*, es una medida estad´ıstica de la desviaci´on entre los flancos de la sen˜al cuadrada ideal comparado con la sen˜al real. Al ser una medida estad´ıstica se necesita de un muestreo a partir del cual se caracteriza al jitter y poder calcular, por ejemplo; la desviaci´on m´axima, el promedio aritm´etico de la desviaci´on y la desviaci´on del promedio. Por otro, el ruido de fase es una varianza en la magnitud horizontal de la onda. A diferencia del ruido aditivo el cual solo afecta a la amplitud de la onda, la varianza horizontal puede cambiar el periodo de la sen˜al deseada.

En un articulo publicado en el 20225 se resen˜aron en total 144 publicaciones de la *ISSCC* y *VLSI*, dando como resultado que 38% de las publicaciones hablan de *ADPLL*, 15% sobre *SSPLL*,18% de *ILPLL* , 7% de *MDLL* y el 22% restante de otros disen˜os. Uno de los resultados que se obtuvo en el articulo mencionado es que los avances en el disen˜o de PLL se pueden dividir en 3 categor´ıas: aumentar la frecuencia conservando el con- sumo de energ´ıa, aumentar la frecuencia manteniendo la relaci´on de frecuencia-consumo de energ´ıa, aumentar la frecuencia manteniendo el jitter normalizado

Cada problema que necesite una implementaci´on requiere especificaciones diferentes. Sera trabajo de la tesis definir si el reloj estar´a enfocado a un uso especifico o a uno m´as general y bajo que condiciones otra tecnolog´ıa se adaptar´ıa mejor al problema. Una de los factores que afectan el rendimiento del reloj en un SoC es la distribuci´on del mismo, al trabajar con frecuencias muy altas la frecuencia llega con un desface diferente en cada dispositivo, es por eso que hay distintas arquitecturas para la correcta distribuccion de la sen˜al de reloj, por ejemplo: *ring clock*,*tree-clock* y *mesh clock*. Es trabajo de la tesis saber con que arquitectura se acomoda mejor el reloj disen˜ado

Cada implementaci´on de un SoC est´a caracterizado por un conjunto de restricciones, como lo es el taman˜o del chip, el consumo energ´etico y la frecuencia a la que debe trabajar el sistema. Dichas restricciones pueden ser parte del problema o consecuencia de los componentes individuales a usar. En lo que concierne al reloj; ademas de las m´etricas ya mencionadas, es necesario pensar en la distribuci´on de todos los componentes que del SoC para asegurar que la sen˜al llegue en sincron´ıa a cada elemento que lo conforma.

Para poder cumplir con las m´etricas necesarias del reloj se han desarollado las tecnicas ya mencionadas, las cuales son: *ADPLL*, *SSPLL*, *ILPLL* y *MDLL*. Tambi´en ha sido necesario desarrollar en la arquitectura necesaria para llevar la sen˜al de reloj a cada componente del SoC, como las ya mencionadas: *ring clock*, *tree clock* y mesh clock. Es prudente mencionar que algunas t´ecnicas de PLL se integran mejor a arquitecturas especificas, como lo es el SSPLL con el *ring clock* . El entregable propuesto es el disen˜o de un PLL y su implementaci´on en una arquitectura SoC pensando en las necesidades m´as generales de un sistema: integraci´on de cpu , memoria y puertos perifericos, bajo consumo de energ´ıa, bajo costo de producci´on, taman˜o reducido y respuesta en tiempo real.

## Objetivo General:

*Disen˜ar un reloj en lenguaje DHL*

*Investigar las diferentes tecnolog´ıas en el disen˜o de PLL e identificar sus ventajas y casos de uso Investigar arquitecturas para integrar un reloj en circuitos SoC e identificar sus casos de uso Identificar posibles implementaciones de un SoC en problemas actuales*

## Objetivos espec´ıficos:

*Integrar la sen˜al del reloj con otros perif´ericos o circuitos. Por ejemplo, el procesador lagarto Caracterizar el reloj echo midiendo su frecuencia m´axima, jitter y ruido de fase*

## ´Indice tentativo de la tesis:

* + - Introduccion
    - Necesidades de un SoC
    - Fundamentos de un PLL
    - Disen˜o tradicional de PLL’s
    - Arquitecturas reloj en SoC
    - Nuevas tecnologias en el disen˜o de PLL’s
      * ADPLL
      * SSPLL
      * ILPLL
      * MDLL
    - Implementaci´on y rendimiento de un SoC
    - Conclusiones

# Aspectos importantes a destacar del trabajo de tesis

* Un reloj es necesario para implementar un sistema embebido y actualmente el laboratorio de Microse no cuenta con el disen˜o de uno
* Una de las tendencias es el disen˜o de relojes totalmente digitales(*ADPLL*), dedicarle tiempo a investigar esta tecnolog´ıa ayuda al laboratorio a estar actualizado con los avances en el campo.
* La arquitectura del reloj de un SoC es un subconjunto del disen˜o de un SoC: a su vez, El disen˜o de un SoC es un campo de estudio importante en el campo de sistemas embebidos.

Al finalizar la tesis, el alumno deber´a ser capas de; dado un problema, identificar las necesidades de un SoC. Adem´as de obtener habilidades t´ecnicas para aumentar la frecuencia de un reloj, reducir la necesidades en- erg´eticas del mismo y poder asegurar que la sen˜al del reloj llegue sincronizada a todos los componentes.

# Plan de trabajo y cronograma

Enumere y describa sucintamente las acciones y actividades que desarrollar´a para lograr los objetivos propuestos, as´ı como los productos que se generar´an como fruto del desarrollo de las actividades.

Consecutivo

Actividades o acciones a desarrollar

Productos Esperados

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Investigar hacerca de PLL y arquitecturas SoC | Simulacio´n de un reloj |
| 2 | Implementar el reloj en fisico | Un reloj funcionando en una placa de desarollo |
| 3 | Investigar un problema que se pueda resolver con un SoC | El disen˜o de un SoC |
| 4 | Implementar el SoC en una placa de desarrollo, usando el reloj disen˜ado | Un SoC en una placa de desarollo |

## Plan de estudios

Debe sen˜alar los meses estimados de inicio y t´ermino de cada una de las actividades descritas en el plan de trabajo, a partir de la fecha de presentaci´on de esta solicitud.

PRIMER AN˜O

SEGUNDO AN˜O

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Actividad | ene | feb | | mar | | abr | | may | | jun | jul | ago | | sep | | oct | nov | | dic | | ene | feb | mar | | abr | | may | | jun |
| 1 | X | | | X | X | X | X | | X | | jul | ago | | sep | | oct | nov | | dic | | ene | feb | mar | | abr | | may | | jun |
| 2 | ene | | feb | | mar | | abr | | X | X | X | | X | X | X | nov | | dic | ene | | feb | mar | | abr | | may | | jun | |
| 3 | ene | feb | | mar | | abr | | may | | jun | jul | | | ago | | X | X | X | X | X | X ma | r | abr | | may | | jun | | |
| 4 | ene | feb | | mar | | abr | | may | | jun | jul | | | ago | | sep | | oct | nov | | dic | ene | X | | X | X | X | X | |

# Recursos requeridos de hardware y software

* Computadora de desarrollo
* Software de desarrollo de HDL
* Placa de desarrollo

# Estancia de investigacio´n

Me gustar´ıa hacer una estancia de investigaci´on en el ultimo semestre. Aun no hay un grupo de trabajo identi- ficado en el que pueda desarrollarme.

Primer Semestre

1. 15A7160 Matema´ticas para las ciencias de la computacio´n
2. 15A71761 Probabilidad, procesos aleatorios e inferencia
3. 15A7203 Internet de las Cosas
4. 15A7228 Procesamiento digital de sen˜ales
5. 15A7215 Microtecnolog´ıa y Arquitectura de Procesadores
6. Seminario Tercer Semestre
7. 15B7298 Disen˜o de Circuitos VLSI Avanzados
8. 15A7194 Disen˜o de Sistemas VLSI
9. 15A7240 Redes sociales y complejidad / Complex Social Networks
10. Seminario III
11. Tema de tesis

Segundo Semestre

1. 15A7159 Disen˜o y Ana´lisis de Algoritmos
2. 15A7162 Teor´ıa de la Computacio´n
3. 15A7211 Lenguajes de Descripcio´n de Hardware
4. 15A7200 Identificacio´n de Sistemas
5. Tema de tesis

Cuarto Semestre

1. Tema de tesis

# Comit´e tutorial propuesto

* + M. Osvaldo Espinosa Sosa
  + Dr. Victor Hugo Ponce Ponce
  + Dr. Hector B´aez Medina
  + Dr. Her´on Molina Lozano

# Retribuci´on social

* + Presentar resultados de su investigaci´on ante grupos sociales, productivos e instituciones
  + Colaborar en procesos de innovaci´on social y tecnol´ogica.
  + Impartir cursos o talleres de formaci´on e innovaci´on social.
  + Participar en foros de intercambio de experiencias sociales/institucionales
  + Apoyar a los programas de posgrado registrados en el SNP para dar cursos, talleres, conferencias, etc., sobre los temas en los que se es experto
  + Divulgar la ciencia y tecnolog´ıa a nin˜os y j´ovenes, mediante cursos y pl´aticas.

# NOTA ACLARATORIA

El presente documento es representativo de que tanto el alumno, as´ı como el(los) director(es) de tesis est´an de acuerdo en trabajar conjuntamente para cumplir los objetivos planteados en el mismo, quedando claro que el contenido de ´este es pieza sustentante de las labores a desarrollar por ambas partes y que al momento de ser entregado a la coordinaci´on del programa, queda de conformidad su desarrollo por los involucrados. Considerando adem´as que la planeaci´on presentada emana de una propuesta por parte del o los director(es) de tesis y es un trabajo a desarrollar por el asesorado cuya labor se considera como un recurso humano de apoyo a un investigador.

# References

1. Brackenbury, L. E. M., Plana, L. A., Pepper, J. (2010). System-on-Chip Design and Im- plementation. IEEE Transactions on Education, 53(2), 272–281. doi:10.1109/te.2009.2014858 en https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/5196691?casa\_token=TpI81j-CHq4AAAAA: ILb9l6GoYXNWQbEPythUCDtK5P1gD1r4HOItcKHaa1guUkdviQkCzPEXMteGrnGGqSA2KhfANXdP
2. Lech Jo´´zwiak(2001), Quality-driven design in the system-on-a-chip era: Why and how?, Journal of Sys- tems Architecture en [https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762100000461?casa\_token=A\_](http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383762100000461?casa_token=A_) tME0kkXqAAAAAA:kexFmDn0pCK5R-u1-8HtNg5OipAboKdQQhrSq3JXLFyNBPwSGPyhPnqJm5v44uHy2IDGlExRLkVd
3. Chakravarthi, V. S. (2022). A practical approach to VLSI system on chip (SoC) design A practical approach to VLSI system on chip (SoC) design (2nd ed.). doi:10.1007/978-3-031-18363-8 en https://link.springer.com/book/ 10.1007/978-3-031-18363-8
4. Fahim, A. (2004). Clock generators for SOC processors [PDF]. doi:10.1007/b117041 en https://link.springer.com/ book/10.1007/b117041
5. Bae, W. (2022). Benchmark figure of merit extensions for low jitter phase locked loops inspired by new PLL archi- tectures. IEEE Access: Practical Innovations, Open Solutions, 10, 80680–80694. doi:10.1109/access.2022.3195687 en https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/9847207
6. en