**UNIVERSIDAD DE CONCEPCIÓN**

FACULTAD DE INGENIERÍA

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA ELÉCTRICA



Proposición de Tesis de Grado

Magíster o Doctorado en Ciencias de la Ingeniería

con mención en Ingeniería Eléctrica

Aquí va el Titulo de la Proposición de Tesis de Grado para alumnos del L.C.D.A.

**Aquí va el nombre completo del alumno**

**Profesor Supervisor:**

Dr. José R. Espinoza C.

**Comisión:**

Aquí va el nombre del externo

Aquí va el nombre de la comisión 1

Aquí va el nombre de la comisión 2

**Fecha:**

26 enero de 20023

**Resumen**

Esta página contiene el resumen de su propuesta de tesis en idioma español. Su extensión no debe superar una página. El sumario debe contener: el contexto, el problema o situación, cómo se soluciona o aborda actualmente, los problemas / errores / desventajas / etc. de la solución actual, su propuesta de solución y los resultados o características esperadas de su solución.

En este documento se entregan los aspectos fundamentales y detallados del formato y contenidos al que debe ajustarse todo informe de propuesta de tesis de Magíster o Doctorado que se genere en el LCDA. En particular, se especifican los márgenes; el uso de simbología y acrónimos; el contenido de la introducción y de las conclusiones; los formatos de: títulos y sub-títulos, tablas, figuras y ecuaciones; y la forma de presentar las referencias y anexos.

La totalidad del documento está automatizado. En particular, la numeración de los capítulos, ecuaciones, tablas, figuras, anexos y referencias. También está automatizada la referenciación a éstos. Se sugiere modificar los elementos actuales o bien copiar/pegarlos (tablas, figuras, ecuaciones, anexos, etc.) para ampliar el contenido. Se sugiere que regularmente seleccione todo su documento y actualice. También mantenga encendida la opción de “Mostrar u ocultar las marcas de formato” con el botón ¶ del editor para una mirada rápida de la uniformidad de los formatos.

**Tabla de Contenidos**

Nomenclatura v

Abreviaciones viii

1. Investigación Propuesta 1

1.1. Introducción 1

1.2. Formulación General del Proyecto 1

1.3. Resultados Preliminares 3

1.3.1 Teoría 3

1.3.2 Simulación 4

1.3.3 Experimentación 4

1.4. Hipótesis de Trabajo 4

2. Discusión Bibliográfica 6

2.1. Introducción 6

2.2. Trabajos Previos 6

2.2.1 Modulación y Control 6

2.2.2 Simulación y Experimentación 6

2.3. Discusión 7

2.4. Referencias 7

3. Objetivos 9

3.1. Objetivo General 9

3.2. Objetivos Específicos 9

3.3. Propuesta de Publicaciones 9

4. Metodología y Alcances 10

4.1. Metodología 10

4.2. Alcances 10

5. Plan de Trabajo 11

5.1. Análisis Teórico 11

5.2. Implementación 11

5.3. Documentación 11

6. Recursos Disponibles 12

6.1. En la UdeC 12

6.2. En el D.I.E. 12

6.3. En el L.C.D.A. 12

6.4. Recursos no Disponibles 13

7. Cronograma 14

Anexo A. Uso de Nomenclatura y Abreviaciones 15

A.1. Nomenclatura 15

A.1.1 Matrices 15

A.1.2 Vectores 15

A.1.3 Escalares 15

A.2. Abreviaciones 15

Anexo B. Formatos Específicos 16

B.1. Márgenes, Espaciamiento, Fuente y Numeración 16

B.2. Títulos y Sub-títulos 16

B.3. Tablas, Figuras y Ecuaciones 16

B.3.1 Tablas 16

B.3.2 Figuras 17

B.3.3 Ecuaciones 18

B.4. Bibliografía 19

B.5. Anexos 19

**Nomenclatura**

**Matrices**

$A$ : matriz de parámetros de dimensión *n*·*n*.

$B$ : matriz de parámetros de dimensión *n*·*p*.

$C$ : matriz de parámetros de dimensión *q*·*n*.

$D$ : matriz de parámetros de dimensión *q*·*p*.

$E$ : matriz de parámetros de dimensión *n*·*m*.

$F$ : matriz de parámetros de dimensión *q*·*m*.

$T$ : matriz de transformación de dimensión de *n*·*n*.

$A\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante $T$ de dimensión *n*·*n*. $A\_{T}=TAT^{-1}$

$B\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante $T$ de dimensión *n*·*p*. **BT** = **TB**

$C\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante $T$ de dimensión *q*·*n*. **CT** = **CT**-1

$D\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante $T$ de dimensión *q*·*p*. **DT** = **D**

$E\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante $T$ de dimensión *n*·*m*. **ET** = **TE**

$F\_{T}$ : matriz de parámetros transformada mediante **T** de dimensión *q*·*m*. **FT** = **F**

$T\_{abc-αβ0}$ : matriz de transformación de ejes *abc* a αβ0, dimensión 3·3.

$T\_{αβ0-abc}$ : matriz de transformación de ejes αβ0 a *abc*, dimensión 3·3.

$T\_{αβ0-dq0}$ : matriz de transformación de ejes αβ0 a *dq*0, dimensión 3·3.

$T\_{dq0-αβ0}$ : matriz de transformación de ejes *dq*0 a αβ0, dimensión 3·3.

$T\_{abc-dq0}$ : matriz de transformación de ejes *abc* a *dq*0, dimensión 3·3.

$T\_{dq0-abc}$ : matriz de transformación de ejes *dq*0 a *abc*, dimensión 3·3.

$H(s)$ : matriz de transferencia. $H\left(s\right)=C\left(sI-A\right)^{-1}B+D$.

$H^{†}(s)$ : matriz de transferencia pseudo inversa. $H^{†}\left(s\right)=H(s)^{-1}$ si $H(s)$ es cuadrada.

$H(s)^{H}$ : matriz conjugada transpuesta de $H\left(s\right)$. $H(s)^{H}=(H(s)^{\*})^{T}$.

$C$ : matriz de controlabilidad.

$O$ : matriz de observabilidad.

$L(s)$ : matriz de transferencia en L.D.

$Φ(t)$ : matriz de transición.

$Adj\{P\}$ : matriz adjunta de la matriz $P$.

$diag\{x\_{1},…\}$ : matriz diagonal compuesta por los valores $x\_{1}$, $x\_{2}$, ….

$Re\{X\}$ : matriz parte real de la matriz $X$.

$Im\{X\}$ : matriz parte imaginaria de la matriz $X$.

$\vec{X}$ : matriz compuesta por elementos $\vec{x}\_{ij}$ que son fasores.

**Vectores**

$x$ : vector de *n* variables de estados, $x=[x\_{1} x\_{2}… x\_{n}]^{T}$

$u$ : vector de *p* variables de entrada, $u=[u\_{1} u\_{2}… u\_{p}]^{T}$

$y$ : vector de *q* variables de salida, $y=[y\_{1} y\_{2}… y\_{q}]^{T}$**y** = [*y*1 *y*2 ··· *yq*]*T*

$p$ : vector de *m* perturbaciones, $p=[p\_{1} p\_{2}… p\_{m}]^{T}$

$\hat{x}$ : vector de *n* variables de estados, $\hat{x}=[\hat{x}\_{1} \hat{x}\_{2}… \hat{x}\_{n}]^{T}$ (estimación de $x$).

$\hat{y}$ : vector de *q* variables de estados, $\hat{y}=[\hat{y}\_{1} \hat{y}\_{2}… \hat{y}\_{q}]^{T}$ (estimación de $y$).

$\tilde{x}$ : vector de *n* variables de estados, $\tilde{x}=[\tilde{x}\_{1} \tilde{x}\_{2}… \tilde{x}\_{n}]^{T}$ (error $\tilde{x}=x-\hat{x}$).

$x^{abc}$ : vector de tres variables de estados, $x^{abc}=[x^{a} x^{b} x^{c}]^{T}$ (ejes estacionarios *abc*).

$x^{αβ0}$ : vector de tres variables de estados, $x^{αβ0}=[x^{α} x^{β} x^{0}]^{T}$ (ejes estacionarios αβ0).

$x^{dq0}$ : vector de tres variables de estados, $x^{dq0}=[x^{d} x^{q} x^{0}]^{T}$ (ejes rotatorios *dq*0).

$x\_{0}$ : condición inicial del vector de estados, $x\_{0}=[x\_{10} x\_{20}… x\_{n0}]^{T}$

$x\_{o}$ : condición inicial del vector de estados, $x\_{o}=[x\_{1o} x\_{2o}… x\_{no}]^{T}$

$u\_{o}$ : vector de entradas en el punto de operación, $u\_{o}=[u\_{o1} u\_{o2}… u\_{op}]^{T}$

$y\_{o}$ : vector de salidas en el punto de operación, $y\_{o}=[y\_{o1} y\_{o2}… y\_{oq}]^{T}$

$y\_{d}$ : vector deseado (referencia) de *q* variables de salida, $y\_{d}=[y\_{d1} y\_{d2}… y\_{dq}]^{T}$

$p\_{o}$ : vector de perturbaciones en el punto de operación, $p\_{o}=[p\_{o1} p\_{o2}… p\_{oq}]^{T}$

$Δx$ : variación del vector de estados$x$ en torno a $x\_{o}$, $Δx=[Δx\_{1} Δx\_{2}… Δx\_{n}]^{T}$

$Δu$ : variación del vector de entradas $u$ en torno a $u\_{o}$, $Δu=[Δu\_{1} Δu\_{2}… Δu\_{p}]^{T}$

$Δy$ : variación del vector de salidas $y$ en torno a $y\_{o}$, $Δy=[Δy\_{1} Δy\_{2}… Δy\_{q}]^{T}$

$Δp$ : variación del vector de perturbaciones $p$ en torno a $p\_{o}$, $Δp=[Δp\_{1} Δp\_{2}… Δp\_{m}]^{T}$

$x(s)$ : Laplace de $x$, $x\left(s\right)=\left[x\_{1}\left(s\right) x\_{2}\left(s\right)… x\_{n}(s)\right]^{T}$

$u(s)$ : Laplace de $u$, $u\left(s\right)=\left[u\_{1}\left(s\right) u\_{2}\left(s\right)… u\_{p}(s)\right]^{T}$

$y(s)$ : Laplace de $y$, $y\left(s\right)=\left[y\_{1}\left(s\right) y\_{2}\left(s\right)… y\_{q}(s)\right]^{T}$

$p(s)$ : Laplace de $p$, $p\left(s\right)=\left[p\_{1}\left(s\right) p\_{2}\left(s\right)… p\_{m}(s)\right]^{T}$

$v\_{k}$ : *k*-ésimo vector propio de $A$.

$w\_{k}$ : *k*-ésimo vector propio de $A^{T}$.

$v\_{k}^{\*}$ : conjugado del *k*-ésimo vector propio de $A$.

$x\_{ec}$ : vector de estados para entrada cero.

$x\_{ci}$ : vector de estados para c.i. nulas.

$y\_{ec}$ : vector de salidas para entrada cero.

$y\_{ci}$ : vector de salidas para c.i. nulas.

$c\_{k}$ : *k*-ésima fila de la matriz $C$.

$b\_{k}$ : *k*-ésima columna de la matriz $B$.

$∇V(x)$ : gradiente de la función$V(x)$. $∇V\left(x\right)=∂V(x)/∂x$.

$\vec{x}$ : vector de fasores,$\vec{x}=[\vec{x}\_{1} \vec{x}\_{2}… \vec{x}\_{n}]^{T}$.

**Escalares**

$x\_{k}$ : *k*-ésima variable de estado.

$dx\_{k}/dt=\dot{x}\_{k}$ : derivada de la *k*-ésima variable de estado.

$a\_{k}$ : *k*-ésimo coeficiente del polinomio característico de $A$.

$λ\_{k}$ : *k*-ésimo valor propio de $A$.

$λ\_{k}^{\*}$ : conjugado del *k*-ésimo valor propio de $A$.

$λ\_{ij}$ : ganancia relativa entre la entrada *i*-ésima y la salida *j*-ésima.

$l(s)$ : función de transferencia en L.D.

$d\_{ij}$ : elemento *ij* de la matriz $D$.

$h\_{ij}(s)$ : elemento *ij* de la matriz $H(s)$.

$h\_{ij}^{†}(s)$ : elemento *ij* de la matriz pseudo inversa $H^{†}\left(s\right)=H(s)^{-1}$ si $H(s)$ es cuadrada.

$rango\{P\left(s\right)\}$ : rango de la matriz $P\left(s\right)$.

$det\{P\left(s\right)\}$ : determinante de la matriz $P\left(s\right)$.

$arg\{\vec{x}\}$ : ángulo del número complejo $\vec{x}$.

$tr\{P\left(s\right)\}$ : traza de la matriz $P\left(s\right)$.

$max\_{ij}\{w\_{ij}\}$ : máximo elemento de la matriz $W$.

$max\{\}$ : máximo valor.

$min\{\}$ : mínimo valor.

$log\{\}$ : logaritmo en base 10.

$u(t)$ : entrada escalón.

$r(t)$ : entrada rampa.

$\left‖e\right‖$ : norma del elemento $e$.

$σ\_{l}(A)$ : *l*-ésimo valor singular de $A$.

$\overbar{σ}(A)$ : máximo valor singular de $A$.

$\overline{σ}(A)$ : mínimo valor singular de $A$.

$ρ(A)$ : radio espectral de $A$.

$γ(A)$ : número de condición de $A$.

$V(x)$ : función de Lyapunov.

$Ω$ : vecindad en el espacio de estados de $x$.

$G$ : conjunto invariante.

$R$ : conjunto invariante subconjunto de $G$.

$e\_{ss}$ : vector de error en estado estacionario.

$δ$ : banda de asentamiento.

$t\_{s}$ : tiempo de asentamiento.

$V$ : valor medio (RMS) de la señal continua (alterna) $v(t)$.

$f(t)$ : función en el tiempo continuo.

$f(k)$ : función en el tiempo discreto (también escrita $f(kT)$, con $T$ el tiempo de muestreo).

$f(s)$ : función en el plano de Laplace.

$f(ω)$ : función en frecuencia continua de tiempo continuo.

$f(Ω)$ : función en frecuencia continua de tiempo discreta.

$f(n)$ : función en frecuencia discreta de tiempo continuo.

$f(m)$ : función en frecuencia discreta de tiempo discreta.

$\vec{x}$ : fasor.

**Abreviaciones**

**Mayúsculas**

L.A. : lazo abierto.

L.C. : lazo cerrado.

L.D. : lazo directo.

L.I.T. : lineal invariante en el tiempo.

S.P.I. : semi-plano izquierdo.

S.P.D. : semi-plano derecho.

F. de T. : función de transferencia.

F.D. : función descriptora.

M. de T. : matriz de transferencia.

B.W. : ancho de banda.

E.S. : entrada/salida.

S.S. : estado estacionario.

SISO : sistema de una entrada y una salida (single input single output).

MIMO : sistema de varias entradas y varias salidas (multiple inputs multiple outputs).

L.G.R. : lugar geométrico de las raíces.

P.I.D. : controlador proporcional integral derivativo.

*S.P.* : sobrepaso.

*M.G.* : margen de ganancia.

*M.F.* : margen de fase.

FCD : forma canónica diagonal.

FCC : forma canónica controlable.

FCO : forma canónica observable.

FCJ : forma canónica de Jordan.

T.L. : Transformada de Laplace.

T.F. : Transformada de Fourier.

T.F.F.D. : Transformada de Fourier de Frecuencia Discreta.

T.Z. : Transformada Z.

T.F.T.D. : Transformada de Fourier de Tiempo Discreta.

T.F.D. : Transformada de Fourier Discreta.

D. de B. : Diagrama de Bode

**Minúsculas**

c.i. : condiciones iniciales.

l.i. : linealmente independiente.

l.d. : linealmente dependiente.

c.c. : corriente continua (en Inglés es d.c.).

c.a. : corriente alterna (en Inglés es a.c.).

a.c.a. : abscisa de convergencia absoluta.

#

# Investigación Propuesta

## Introducción

La introducción ilustra el contexto del trabajo realizado. Es importante situarlo en el ámbito más general de la disciplina de la Ingeniería Eléctrica y a su vez en la Ingeniería en general. Un poco de historia y contingencia de actualidad en el tema son bienvenidos. Se considera que utilizar unas dos a tres referencias a la bibliografía es moderado. Éstas pueden ser del más variado tipo, como por ejemplo, Memorias de Títulos [1], papers en revistas [2], papers en conferencias [3], reglamentos [4], libros [5], y/o páginas web [6]. Una página de texto para este ítem es suficiente.

Todo documento debiera regirse por las normas de escritura que son aceptadas en la lengua Española. Sin embargo, los documentos en la disciplina de la Ingeniería pareciera que tienen estructura propia. No obstante, hay una regla que debiera seguirse y esta está relacionada con los párrafos. Éstos debieran elaborar un tema en particular y no superar las diez a quince líneas. Para los más detallistas, el párrafo debiera comenzar con una sentencia introductoria, elaborar en el tema y terminar con una sentencia conclusiva.

## Formulación General del Proyecto

Aquí corresponde presentar el problema al cual se le dará solución en la tesis de grado. Se espera encontrar una presentación formal con desarrollo de ecuaciones, gráficas, simulación y/o experimentación. No se debe entregar información de cómo se ha solucionado este problema por otros autores, pues este análisis corresponde hacerlo en la Revisión Bibliográfica más adelante. Aquí hay un ejemplo relativo a la conexión en paralelo de convertidores trifásicos fuente de corriente para la compensación de tensión serie.

Los filtros serie se utilizan para entregar un voltaje regulado a los usuarios de una red. SAG, Swells y desbalances son amortiguados por este tipo de equipamiento. Se ha mostrado que el objetivo puede ser alcanzado utilizando un convertidor estático. Además, si la mayor parte del voltaje inyectado está en cuadratura con la corriente de la carga, la topología no necesita una fuente de poder DC, ya que principalmente absorbe o entrega potencia reactiva, puesto que sólo absorberá una pequeña cantidad de potencia activa para compensar las pérdidas.

La literatura muestra que filtros serie construidos con topologías fuente de voltaje multi-nivel son una alternativa real para filtros de alto desempeño debido a ventajas como (i) una reducción en la distorsión de las corrientes y voltajes en el lado AC, con una reducción de los *dv*/*dt* y sus efectos secundarios y (ii) el reparto del voltaje entre varios interruptores, permitiendo el manejo de potencias mayores. Asimismo, tienen dos inconvenientes (i) necesita un filtro de segundo orden en la entrada del rectificador y (ii) toda la corriente debe pasar por los semiconductores.

|  |
| --- |
|  |

Fig. 1.1 Topología de convertidor multi-nivel fuente de corriente.

También se han propuesto compensadores serie construidos con topología fuente de corriente. Entre sus ventajas se cuenta el uso de un filtro de primer orden, lo que evita el riesgo de agregar resonancias al sistema y la limitación intrínseca a las corrientes de cortocircuito, impuesta por el inductor de enlace DC. En la Fig. 1.1 es posible observar la topología fuente de corriente multi-nivel propuesta para un filtro serie, tiene todas las ventajas de una configuración multi-nivel, a saber (i) menores índices de distorsión y (b) el reparto de las corrientes entre varios semiconductores. Adicionalmente, el filtro utilizado evita agregar resonancias al sistema como si lo hace el filtro de una fuente de voltaje.

Las ecuaciones en variables de estado que modelan el sistema son,

|  |  |
| --- | --- |
| $$-v\_{sb}+\left(L\_{rb}+L\_{L}\right)\frac{di\_{sb}}{dt}+v\_{rbc}-\left(L\_{rc}+L\_{L}\right)\frac{di\_{sc}}{dt}+v\_{sc}+r\_{L}i\_{sb}-r\_{L}i\_{sc}=0$$ | (1.1) |
| $$i\_{dc}-C\_{dc}\frac{dv\_{dc}}{dt}-\frac{v\_{dc}}{R\_{dc}}=0$$ | (1.2) |

donde $v\_{dc1}$ es el voltaje DC de la celda 1, $v\_{dc2}$ es el voltaje DC de la celda 2, $i\_{dc}$ la corriente DC total, $i\_{dc1}$ la corriente dc en la celda 1, $i\_{dc2}$ la corriente en el enlace dc de la celda 2, $i^{abc}$ el vector de corriente total de los inversores, $v\_{c}^{abc}$ el vector de voltaje en el condensador de entrada visto desde el primario del transformador, $i\_{l}^{abc}$el vector de la corriente total circulando en la línea de transmisión, $C\_{c}$ el valor de la capacitancia de salida, $L\_{l}$el valor de la inductancia en la carga y $R\_{l}$ el valor de la resistencia en la carga y *n* la razón de transformación del transformador de entrada.

Esta topología tiene las siguientes ventajas sobre un filtro serie tipo inversor multi-nivel fuente de voltaje: (i) los filtros son más sencillos lo que ayuda a prevenir la generación de nuevas resonancias en el sistema y (ii) en convertidores fuente de voltaje en cascada, cada interruptor debe ser capaz de soportar la corriente nominal del inversor, así para aumentar el nivel de potencia se debe utilizar por cada interruptor ideal varios semiconductores en paralelo con todos los problemas que significa en términos de confiabilidad, situación que no ocurre en la topología propuesta, donde la corriente se reparte en forma homogénea en los semiconductores de cada celda.

|  |  |
| --- | --- |
| Fig. 1.2 Modelo del PLL. | Fig. 1.3 Modelo Linealizado del PLL. |

No obstante el problema de distribuir la potencia en varios semiconductores con mejoras en el desempeño de todo el sistema no está resuelto. Se requiere que la corriente DC en ambos convertidores sea igual. Esta restricción no es satisfecha por las técnicas de modulación conocidas y aparece como un problema a resolver en esta tesis.

## Resultados Preliminares

Aquí se muestra el avance logrado a la fecha en el tópico a desarrollar. La clasificación se prefiere por ítem. Por ejemplo, si se trata de un algoritmo para ser utilizado en la modulación de una topología, se puede clasificar en aspectos teóricos, simulación y experimentación. El avance le permitirá pulsear si el tiempo disponible es suficiente para cumplir con la propuesta. En efecto, la Dirección de Postgrado tiene establecidos los mínimos y máximos de duración de una tesis. A continuación se muestra un ejemplo de resultados preliminares de un algoritmo de sincronización.

### Teoría

Aquí se muestran aspectos del modelo y simplificaciones de éste. Si hay transformaciones, éste es el lugar para explicarlas.

El modelo se ilustra en la Fig. 1.2. Este está en el plano del tiempo y muestra claramente cómo el tiempo de muestreo cambia en cada instante de muestreo.

El modelo simplificado se ilustra en la Fig. 1.3. Este está en el plano Z, por cuanto el diseño se simplifica. La F. de T. en este caso resulta ser,

|  |  |
| --- | --- |
| $$\frac{y(z)}{θ\_{e}(z)}=\frac{U\_{i}U\_{e}(1-z^{-1})^{2}}{z^{-2}(T-4)+z^{-1}(7-20)-2}$$ | (1.3) |

donde $T$ es el tiempo de muestreo y el controlador ha sido asumido como,

|  |  |
| --- | --- |
| $$c\left(z\right)=k\_{p}\left(1+ω\_{c}\frac{1+z^{-1}}{1-z^{-1}}\frac{T}{2}\right)=\frac{T(z)}{e(z)}$$ | (1.4) |

donde $k\_{p}$ y $ω\_{c}$ son escogidos utilizando por ejemplo el método del L.G.R. Nótese que en (1.4) se evidencia un controlador tipo PI por la presencia de un integrador puro (polo en $z=1$) y un cero definido por $ω\_{c}$.

En otros casos es conveniente indicar, por ejemplo, que los elementos $R$, $L$ y $C$, switches y fuente de alimentación son ideales y que la red y/o carga trifásica son balanceadas, etc.

### Simulación



Fig. 1.4 Formas de Onda Simuladas.

A continuación, se presenta la simulación lograda hasta ahora. Esta constituye la operación en lazo abierto. Los resultados están en la Fig. 1.4.

### Experimentación

En la Fig. 1.5 se muestran resultados experimentales preliminares. Para la versión definitiva se cuenta con los prototipos desarrollados en el Laboratorio de Control Digital Aplicado. Éstos están basados en estructuras PEBB lo que los hace fácilmente escalables y transferibles. En consecuencia, se espera tener resultados experimentales definitivos durante la Memoria de Título.

## Hipótesis de Trabajo

La hipótesis es la apuesta que se hace en el proyecto. Por ejemplo, son hipótesis:

Es posible construir convertidores multinivel fuente de corriente trifásicos de media tensión que reúnan las siguientes características (i) capacidad de escalar cualquier nivel de potencia agregando más celdas; (ii) utilicen técnicas de modulación estándar; (iii) permitan mantener una distribución homogénea de la carga entre las celdas y (iv) tenga mejores índices de calidad en la corriente de entrada que topologías de similar potencia.

|  |  |
| --- | --- |
| **(a)** | **(a)** |
| Fig. 1.5 Más Formas de Onda del PLL Experimentales.**(a)** controlador P; **(b)** controlador PI. |

Es posible concebir un convertidor multi-nivel basado en celdas trifásicas capaces de regenerar en forma sostenida, controlar la potencia reactiva en la entrada y minimizar los componentes que almacenan energía, mientras la calidad de la energía no se ve comprometida.

# Discusión Bibliográfica

## Introducción

La revisión bibliográfica es parte esencial del proyecto pues da el sustento histórico y la relevancia y pertinencia del tema a desarrollar. La idea es que el alumno revise todo lo publicado hasta la fecha en el tema. Ésta puede ser libros, papers, páginas WEB, memorias y/o tesis, etc. El listado de referencias se prefiere al final de esta sección. La convención utilizada para listar la bibliografía está bien definida en las publicaciones del IEEE, por lo que se adopta ésta para tales efectos. Ver las referencias de este documento como un ejemplo.

## Trabajos Previos

Aquí se realiza la revisión bibliográfica clasificada preferentemente por ítems. Por ejemplo, si se trata del control y modulación de un convertidor estático. La bibliografía se puede dividir en Modulación y Control; y Simulación y Experimentación. En cada ítem se reescribe la referencia y se comenta por media plana. Se espera que entre 10 a 15 revisiones sea suficiente. Nótese que al comentar la referencia se hace hincapié en el aspecto que dará paso al trabajo propuesto en la tesis. Ver el análisis siguiente como ejemplo.

### Modulación y Control

♣ J. Espinoza, J. Espinoza, and L. Morán. “A Systematic Controller Design Approach for Neutral-Point-Clamped Three-Level Inverters,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no 6, pp. 1589-1599, Dec. 2005, [2].

En este trabajo se presenta una técnica de modulación que permite balancear los voltajes de enlace de un inversor de tres niveles. La técnica está basada en la clásica PWM, pero a diferencia de las tradicionalmente utilizadas en estos equipos, la propuesta utiliza un offset para las moduladoras. Este offset se transforma en una entrada más desde el punto de vista de control, que permite regular la diferencia de voltaje en el enlace a cero en un esquema en lazo cerrado. Sin embargo, la técnica no incluye inyección de secuencia cero, lo que redunda en una pobre utilización del voltaje del enlace. Se destaca el set de resultados experimentales que son apropiados para ilustrar la propuesta.

### Simulación y Experimentación

♣ C. Baier, M. Pérez, J. Espinoza, and J. Rodríguez “Analysis of a Multi-Cell Topology implemented with Single-Phase Non-Regenerative Cells Under an Unbalanced AC Mains,” in Conf. Rec. IECON’05, Raleigh, NC, USA, Nov. 6 – 10, 2005, [3].

Este trabajo ilustra cómo la simulación permite obtener resultados que experimentalmente resultarían costosos y de alto riesgo para las personas. Es más, producir desbalances en la red de alimentación no es algo trivial de lograr en un laboratorio. En este trabajo se muestra cómo la simulación permite obtener resultados satisfactorios. El trabajo también incluye resultados experimentales preliminares de una estructura en particular que permiten corroborar la teoría. Sin embargo, las características ideales de la fuente de alimentación dejan todavía aspectos no cubiertos por el trabajo.

## Discusión

De la revisión realizada se encuentra que aspectos como la inyección de secuencia cero y la utilización de modelos más realistas de la red de alimentación no están abordados. Éstos son claves para el tema a realizar en la tesis y por tanto se consideran la base para este estudio.

## Referencias

1. Javier E. Espinoza, “*Desarrollo de Estrategias de Control No Lineal y Modelación Tiempo Discreto para Convertidores Estáticos Conectados Directamente a la Red*”, Memoria de Título, Ingeniero Civil Electrónico, Diciembre 2002, Departamento de Ingeniería Eléctrica, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.
2. J. Espinoza, J. Espinoza, and L. Morán. “A Systematic Controller Design Approach for Neutral-Point-Clamped Three-Level Inverters,” *IEEE Transactions on Industrial Electronics*, vol. 52, no 6, pp. 1589-1599, Dec. 2005.
3. C. Baier, M. Pérez, J. Espinoza, and J. Rodríguez “Analysis of a Multi-Cell Topology implemented with Single-Phase Non-Regenerative Cells Under an Unbalanced AC Mains,” in *Conf. Rec. IECON’05*, Raleigh, NC, USA, Nov. 6 – 10, 2005.
4. Reglamento de Memoria de Título, 1995, Facultad de Ingeniería, Universidad de Concepción.
5. *“Numerical Methods for Engineers”* Steven C. Chapra and Raymond P. Canale. McGraw-Hill, 1999.
6. Página personal del Prof. José R. Espinoza C., <http://www2.udec.cl/jose.espinoza/>
7. M. Medina. (2020). Cómo escribir una bibliografía usando el formato IEEE, dirección [https://www.academia.edu/41805047/Cómo\_escribir\_una\_bibliografía\_usando\_el\_formato\_IEEE\_v2\_0](https://www.academia.edu/41805047/C%C3%B3mo_escribir_una_bibliograf%C3%ADa_usando_el_formato_IEEE_v2_0).

# Objetivos

Es importante ser realista con la propuesta por cuanto será chequeada con lo logrado al final de la tesis. Se acostumbra a dividir en objetivos generales y específicos y además se debe considerar la propuesta de publicación. Recuerde que la Dirección de Postgrado define claramente los mínimos en términos de publicaciones para el grado de magíster y doctorado.

## Objetivo General

Desarrollar, diseñar y fabricar mesas de espumas para uso como escritorios.

## Objetivos Específicos

* Lograr mesas de espuma que resistan igual peso que una de madera para iguales dimensiones.
* Reducir costos de manera de lograr igual o menor precio de las mesas de espuma que las mesas existentes en el mercado.
* Permitir que su ensamblado sea fácil de manera que los consumidores puedan armarla sin herramientas especiales y en un mínimo de tiempo.

## Propuesta de Publicaciones

Es importante ser realista en la propuesta, pues ésta será chequeada por la comisión al final del proyecto. También debe recordarse que hay mínimos exigidos por la Dirección de Postgrado para estos efectos. Es aconsejable detallar la conferencia, congreso, seminario, taller, revista, etc. en donde se realizarán las publicaciones. Por ejemplo,

**Conferencia:**

IECON 2003 29th Annual Conference of the IEEE Industrial Electronics Society, Hotel Roanoke and Conference Center, Roanoke, Virginia, USA, November 2-6, 2003.

**Journals:**

• IEEE Transactions on Industrial Electronics.

• IEEE Transactions on Power Electronics.

# Metodología y Alcances

## Metodología

Se debe comentar cómo se realizarán las diferentes etapas del proyecto. En particular, si se hará simulación, experimentación (en laboratorio, a escala, en planta, etc.). Si se contempla diseño, fabricación propia o externalizada, etc.. Por ejemplo, se puede incluir el listado siguiente,

* Búsqueda de bibliografía mayoritariamente en IEEExplore para conocer el estado del arte en accionamientos y en particular de las técnicas de control para inversores de 3 niveles.
* Realización de un análisis y estudio teórico de la topología NPC fuente de voltaje. Para esto se desarrollarán modelos basados en los principios físicos del convertidor.
* Proposición de estrategias de control para las variables DC y AC del inversor. Se utilizarán técnicas como el AGR y Valores Singulares.
* Simulación en Matlab y PLECS para verificar los modelos y controladores propuestos. Se idealizarán los modelos del convertidor para trabajar con modelos promedios.
* Implementación de un prototipo de bajo voltaje y baja potencia controlado por DSP. Los diseños y construcción se realizarán en el LCDA.
* Obtención de resultados experimentales para evaluar el desempeño de algoritmos utilizados y contrastarlos con las simulaciones.

## Alcances

Aquí se indican claramente las limitaciones asumidas. Por ejemplo, para la construcción de las mesas de espuma se puede limitar a mesas de cuatro patas, de dimensiones no mayores a 120x60x70 cm y la cubierta será plana.

# Plan de Trabajo

El Plan de Trabajo muestra un listado de las actividades que se realizarán durante la ejecución de la tesis. Verifique que se conjugan los objetivos, hipótesis y metodología en lo propuesto. Dividir las actividades en grupos es aconsejado. Recuerde que el Plan de Trabajo llevará una Carta Gantt en el capítulo Cronograma y que debe ejecutarse en los plazos establecidos por la Dirección de Postgrado. A continuación se muestra un ejemplo clasificado convenientemente para el desarrollo de una Tesis de Magíster.

## Análisis Teórico

1. Recopilación y revisión bibliográfica.
2. Análisis del inversor de 3 niveles NPC.
3. Desarrollo de un modelo para modulador SPWM - Inversor.
4. Análisis y modelación de la estructura de accionamiento 18 pulsos - Inversor.
5. Diseño y análisis de controladores para las corrientes de salida y del voltaje del Punto Neutro.
6. Simulación y evaluación de los modelos y controladores.

## Implementación

1. Diseño de circuitos para implementación.
2. Diseño en PCB de los circuitos.
3. Montaje de la implementación.
4. Programación en DSP TMS320C31 de algoritmos de control.
5. Obtención de formas de Onda de NPC en lazo cerrado.

## Documentación

1. Documento de Tesis.
2. Papers.

# Recursos Disponibles

Lo importante es identificar todo lo necesario para el cumplimiento de los objetivos. Esto por cuanto todo lo que se indique en esta sección será obligación de la UdeC proveerlo y similarmente, todo lo que no se indique, no será obligación de la UdeC proveerlo. Debe tenerse especial cuidado en el cumplimiento de aspectos experimentales, por cuanto los recursos son limitados. También es necesario observar los tiempos y costos de internación de ítems comprados en el extranjero.

## En la UdeC

Es posible que la UdeC proporcione algunos de los recursos requeridos. Si no los hay, con seguridad la infraestructura debe ser considerada; en particular, laboratorios de otras reparticiones ajenas al D.I.E.. Por ejemplo,

* Servicio de Biblioteca Central y servicio online de IEEE para revisión de publicaciones de las revistas del IAS, IES y PES.

## En el D.I.E.

Los laboratorios, equipos, instrumentación, etc. deben ser detallados. En particular, cuando los ítems están bajo la tutela de otro profesor que no es el supervisor. De esta manera quedará establecido por escrito el compromiso a facilitarlos para el desarrollo de la tesis. Por ejemplo,

* Laboratorio LSSEPM con computadores con licencia de MatLab y versión evaluativa de MathCad para realizar las simulaciones.

## En el L.C.D.A.

Se puede indicar que se dispone de los siguientes recursos para la realización de las distintas etapas de la tesis:

* Versión evaluativa de Protel DXP para realizar los esquemáticos de las placas impresas.
* Protoboards y componentes análogas/digitales para implementación de circuitos.
* 2 osciloscopios digitales con un total de 6 canales (3 aislados).
* Procesador Digital de Señales TMS320C31 con tarjetas de E/S análogas para la implementación para el control en tiempo real.

## Recursos no Disponibles

Es crucial indicar los recursos no disponibles (necesarios para lograr los objetivos) y la forma en que se obtendrán. Es decir, quién proveerá, a qué costo y quién los financiará. Normalmente, se puede contar con el financiamiento a través de un proyecto en particular. Por ejemplo, del apoyo de un proyecto tal como el Fondecyt Regular N° 102 0432, titulado “*Estrategias de control híbridas multi-variables para convertidores estáticos trifásicos ac/dc modulados por ancho de pulso*”.

# Cronograma

El cronograma es una Carta Gantt básica en donde se listan las actividades de la sección Plan de Trabajo. La Dirección de Postgrado impone tiempos máximos y mínimos para la ejecución de una tesis; por lo tanto, el cronograma debe ajustarse a estos límites. Un ejemplo, acorde con el Plan de Trabajo (para cuatro meses de trabajo de tesis) ilustrado en las sección anteriores es el siguiente.

|  |  |
| --- | --- |
| **Actividad** | **Semana** |
| **1** | **2** | **3** | **4** | **5** | **6** | **7** | **8** | **9** | **10** | **11** | **12** | **13** | **14** | **15** | **16** |
| **A** | X | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **B** |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **C** |  | X | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **D** |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| **E** |  |  |  | X | X | X |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |
| **F** |  |  |  |  | X | X | X |  |  |  | X | X | X |  |  |  |
| **G** |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X | X |  |  |  |  |  |
| **H** |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X |  |  |  |  |  |  |
| **I** |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X | X |  |  |
| **J** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X |  |
| **K** |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X |
| **K** |  |  |  |  |  |  |  |  | X | X | X | X | X | X | X | X |
| **L** |  |  |  |  | X | X | X | X |  |  |  |  | X | X | X | X |

# Uso de Nomenclatura y Abreviaciones

## Nomenclatura

### Matrices

Por ejemplo, $A$ es la matriz de coeficientes de la representación en variables de estado de un sistema lineal. Nótese que se utiliza una fuente negrita y siempre mayúscula y que si la matriz está compuesta por números complejos, entonces se indica como $\vec{A}$.

### Vectores

Por ejemplo, $x$ es el vector de estados de la representación en variables de estado de un sistema lineal. Nótese que son siempre vectores columnas y se utiliza una fuente negrita y siempre minúscula y que si el vector está compuesto por números complejos, entonces se indica como $\vec{x}$.

### Escalares

#### Escalares por Definición

Por ejemplo, *x*1 es la primera variable de estados del vector de estados $x$. Nótese que se utiliza una fuente itálica y siempre minúscula y que si el escalar es un número complejo, entonces se indica como $\vec{x}$.

#### Escalares como resultado

También será escalar por ejemplo $d=det\{A\}$.

## Abreviaciones

Las abreviaciones pueden ser mayúsculas o minúsculas. Si bien no hay un estándar, muchas de ellas se pueden derivar de la notación utilizada históricamente en Ingeniería Eléctrica. Un listado se encuentra al principio de este documento.

# Formatos Específicos

## Márgenes, Espaciamiento, Fuente y Numeración

Los márgenes están definidos por el Reglamento de Memoria de Título [4] y son: 2,5 cm arriba e izquierdo, y 2 cm abajo y derecho. El número de página va en la parte superior derecha. Nótese que se utiliza romano para la numeración de hojas hasta justo antes del Capítulo 1. El espaciamiento en el desarrollo del documento es 1,5 líneas, fuente Times New Roman y tamaño 12.

## Títulos y Sub-títulos

Los títulos son como los utilizados en este documento. El que define el capítulo es de fuente negrita, Arial y tamaño 18. El siguiente como el 4.1 es en negrita, Times New Roman y tamaño 16. El siguiente como 4.4.1 es negrita, Times New Roman y tamaño 14, él último a utilizar como A en el 2.2.3 es negrita, itálico, Times New Roman y 12. Nótese que todos están indentados a 1,25 cm. Un resumen se muestra en la Tabla B.1.

## Tablas, Figuras y Ecuaciones

### Tablas

Las tablas tienen numeración propia y leyenda en la parte superior. Nótese que la leyenda tiene una fuente Times New Roman, tamaño 10 en negrita y la numeración conserva el número de capítulo. A continuación se muestran dos ejemplos. En particular, la Tabla B.1 muestra una tabla general.

**Tabla B.1 Tipos de Formatos de Títulos.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Tipo** | **Formato** |
| Título de capítulo (Capítulo 1) | Negrita, Arial y tamaño 18 |
| Título siguiente (4.1 Introdu…) | negrita, Times New Roman y tamaño 16 |
| Título siguiente (4.4.1 Tablas) | negrita, Times New Roman y tamaño 14 |
| Último título (A. Defi…) | negrita, itálico, Times New Roman y 12 |

La Tabla B.2 es una lista de valores numéricos de un set-up utilizado en un experimento en laboratorio. Nótese el alineamiento de los valores y unidades de medida.

**Tabla B.2 Tabla con Valores Numéricos.**

|  |  |
| --- | --- |
| **Parámetro** | **Valor** |
| $r\_{L}$ (line resistance) | 0.5 | Ω |
| $L\_{L}$ (line inductance) | 0.5 | mH |
| $v\_{sa}$ (supply phase voltage RMS) | 220 | V |
| $f\_{s}$ (supply frequency) | 50 | Hz |
| $f\_{sw}$ (switching frecuency) | 1050 | Hz |
| $C\_{dc}$ (dc filter) | 1000 | μF |
| $R\_{dc}$ (load) | 49 | Ω |
| $V\_{dc}$ (nominal dc link voltage) | 700 | V |
| $L\_{ra}$ (nominal inductor ac filter) | 5 | mH |
| $L\_{rb}$ (nominal inductor ac filter) | 5 | mH |
| $L\_{rc}$ (nominal inductor ac filter) | 5 | mH |

### Figuras

Las figuras tienen numeración propia - que conserva el número de capítulo - y leyenda por debajo. Nótese que la leyenda tiene dos partes, el nombre que está en fuente Times New Roman, tamaño 10 en negrita y la descripción de cada sub-figura de la figura que está en fuente Times New Roman y tamaño 10. A continuación se muestran dos ejemplos. La Fig. B.1 muestra una figura con leyenda simple.



**Fig. B.1 Rectificador Fuente de Voltaje.**

La Fig. B.2 es una figura compuesta de partes (a) y (b). Nótese que la descripción de las partes (a) y (b) es de tamaño 10 y sin negrita y se ubica en la línea siguiente. La descripción incluye la nomenclatura utilizada de acuerdo a la figura en donde se muestra el circuito correspondiente, la Fig. B.1 en este caso.



**(a)**



**(b)**

**Fig. B.2 Formas de Onda del Rectificador Fuente de Voltaje.**

**(a)** voltaje de fase, *vsa*, y corriente de línea, *isa*; **(b)** voltaje de línea de entrada, *vab*.

### Ecuaciones

Las ecuaciones tienen numeración propia y conservan el número de capítulo. El número se encuentra a la derecha y la ecuación a la izquierda; también se utiliza la ecuación centrada.

|  |  |
| --- | --- |
| $$-v\_{sb}+\left(L\_{rb}+L\_{L}\right)\frac{di\_{sb}}{dt}+v\_{rbc}-\left(L\_{rc}+L\_{L}\right)\frac{di\_{sc}}{dt}+v\_{sc}+r\_{L}i\_{sb}-r\_{L}i\_{sc}=0$$ | (B.1) |
| $$i\_{dc}-C\_{dc}\frac{dv\_{dc}}{dt}-\frac{v\_{dc}}{R\_{dc}}=0$$ | (B.2) |

Nótese que as ecuaciones son parte del texto y por lo tanto se terminan con una coma. Si la ecuación es el último elemento de un párrafo, entonces se termina con un punto. Es importante recordar que la nomenclatura utilizada en las ecuaciones sea consecuente con la utilizada en las tablas, figuras y notación restante. Al definir cantidades después de una ecuación se recomienda el siguiente formato,

|  |  |
| --- | --- |
| $$ki\_{dc}-G\_{dc}\frac{dv\_{dc}}{dt}=0$$ | (B.3) |

donde,

 $k$ : ganancia aparente,

 $G\_{dc}$ : ganancia dc del convertidor, y

 $λ$ : factor de olvido.

También se acepta que al definir una ecuación se utilice,

|  |  |
| --- | --- |
| $$ki\_{dc}-G\_{dc}\frac{dv\_{dc}}{dt}=0$$ | (B.4) |

donde, $k$: ganancia aparente, $G\_{dc}$: ganancia dc del convertidor y $λ$: factor de olvido.

## Bibliografía

Ver la bibliografía de este artículo para familiarizarse con el formato y su ubicación. Los tipos distintos de bibliografía son: papers, libros, memorias y/o tesis y sitios web. En [7] Ud. puede encontrar información de cómo escribir las referencias.

## Anexos

Los anexos son capítulos que se numeran con letras A, B, … Ver los anexos de este artículo para familiarizarse con el formato.