



EDUCACIÓN
SECRETARÍA DE EDUCACIÓN PÚBLICA



TECNOLÓGICO
NACIONAL DE MÉXICO



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MORELIA
"José María Morelos y Pavón"

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MORELIA

DIVISIÓN DE ESTUDIOS PROFESIONALES

**PROGRAMA DE GRADUADOS E INVESTIGACIÓN EN
INGENIERÍA ELÉCTRICA**

TESIS

**DISEÑO Y EVALUACIÓN DE ESQUEMAS
DE PROTECCIÓN AVANZADOS PARA
SISTEMAS MTDC EN AMBIENTE PSCAD**

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA
ELÉCTRICA**

PRESENTA:

**ING. JUAN MANUEL SANTAMARÍA FUENTES
BURRUEL**

DIRECTOR DE TESIS:

DR. EDGAR LENYMIRO MORENO GOYTIA

MORELIA, MICHOACÁN

MAYO 2020

Resumen

La tendencia de los sistemas HVDC se dirige a convertirse en sistemas MTDC con generación variable. Uno de los grandes retos de la implementación de los MTDC recae en lograr esquemas de protección de sobrecorriente efectivos y viables. Una falla polo a tierra en CD alcanza picos de corriente 16 veces su valor nominal. El proceso rudimentario para la interrupción de falla en CD consiste en la apertura del Breaker, CB, en CA, pero los tiempos de interrupción de este proceso, son inaceptables. Hoy en día existen pocas opciones CB de CD, y estos siguen investigándose. Otra solución propone el uso de convertidores con tolerancia a falla para el reemplazo o auxilio de CB de CD. Ambas propuestas han sido ampliamente estudiadas con tiempos de interrupción menores a los 30 ms, sin embargo, sus estudios se limitan en líneas de transmisión (o cables), fallas no permanentes y carecen de selectividad.

Una falla permanente ubicada en la salida o bus de una estación no es protegida en su totalidad por esquemas de protección basados en CB de CD, ya que el sistema de CA vecino a la estación, continúa alimentado esta falla. Por otro lado, si el sistema en CD cuenta con estaciones con tolerancia falla, solo atenúa la corriente de falla y depende de la apertura del CB de CA.

Este trabajo de Tesis propone un esquema de protección basado en CB híbridos de CD y dispositivos auxiliares. El esquema demuestra que tiene la capacidad de interrumpir fallas en sistemas MTDC de manera selectiva cercanas a las estaciones, con un tiempo interrupción de falla de 20 ms. Los casos de estudio para verificar el desempeño se realizaron modificando la red CD-MTDC de Cigré implementada en PSCAD.

Índice de Contenido

DEDICATORIA	I
AGRADECIMIENTOS	II
RESUMEN	III
<i>ABSTRACT</i>	IV
ÍNDICE DE CONTENIDO	V
ÍNDICE DE FIGURAS	VIII
ÍNDICE DE TABLAS	XI
GLOSARIO DE TÉRMINOS	XII
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN	1
1.1 ESTADO DEL ARTE	3
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	8
1.3 JUSTIFICACIÓN	8
1.4 OBJETIVO	8
1.5 ESTRUCTURA DE LA TESIS	9
CAPÍTULO 2 SISTEMA HVDC MULTITERMINAL CIGRE B4-57	10
2.1 INTRODUCCIÓN	10
2.2 ESTRUCTURA GENERAL DEL SISTEMA MTDC-CIGRE	10
2.3 ESTACIONES BIPOLARES DEL SISTEMA MTDC-CIGRE	14
2.4 DATOS DEL SISTEMA MTDC-CIGRE PARA EL FLUJO DE POTENCIA	14
2.5 MODELADO DE ELEMENTOS DEL SISTEMA MTDC-CIGRE	18
2.5.1 ESTRUCTURA BÁSICA DE UN MMC	18
2.5.2 CONFIGURACIÓN SM-HB DE UN MMC	19
2.5.3 MODELOS PROMEDIADOS	19
2.5.4 ESTACIONES CA-CD	20
2.5.5 ESTACIONES CD-CD	21
	V

2.5.6	LÍNEAS DE TRANSMISIÓN Y CABLES DEL SISTEMA MTDC-CIGRE	21
2.6	CONTROL JERÁRQUICO DE ESTACIONES MMC EN EL SISTEMA MTDC-CIGRE	22
2.7	ACCIONES DE PROTECCIÓN PARA FALLAS EN CD DEL SISTEMA MTDC-CIGRE	23

CAPÍTULO 3 ESQUEMAS DE PROTECCIÓN PARA SISTEMAS MTDC 26

3.1	INTRODUCCIÓN	26
3.2	CONFIGURACIONES MMC-FB	26
3.2.1	CORRIENTE DE FALLA A TRAVÉS DE LA CONFIGURACIÓN FB	27
3.2.2	IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA MTDC-CIGRE	28
3.3	INTERRUPTOR HÍBRIDO ENSAMBLADO	30
3.3.1	PARTE A	30
3.3.2	PARTE B	32
3.3.3	IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA MTDC-CIGRE	34
3.3.4	DETECCIÓN Y SEÑAL DE FALLA	35
3.3.5	SEÑALES DE ESTADO PARA ELEMENTOS CONMUTADORES	36
3.3.6	PROCESO DE INTERRUPCIÓN	38
3.3.7	FALLA EN BUSES	39
3.3.8	VALORES NOMINALES	40
3.4	ESQUEMA DE INTERRUPTOR DE TIRISTOR DOBLE (DTSS)	41
3.5	CB HÍBRIDO ENSAMBLADO + DTSS	42
3.5.1	IMPLEMENTACIÓN EN EL SISTEMA MTDC-CIGRE	43
3.5.2	CONDICIÓN DE OPERACIÓN	43
3.5.3	PUENTE DE FASES EN CA	45
3.5.4	PROCESO DE INTERRUPCIÓN	45

CAPÍTULO 4 CASOS DE ESTUDIO 46

4.1	INTRODUCCIÓN	46
4.1.1	RESUMEN DE CASOS DE ESTUDIO	47
4.2	CASO DE ESTUDIO I: CONVERTIDORES CON SM-FB	48
4.2.1	CORRIENTE DE FALLA	48
4.2.2	COMPORTAMIENTO DE LAS ESTACIONES	48
4.2.3	VOLTAJES DE FALLA	49
4.3	CASO DE ESTUDIO II: CB HÍBRIDO ENSAMBLADO	50
4.3.1	CONSIDERACIONES	50
4.3.2	CORRIENTES DE FALLA	51
4.3.3	VOLTAJES DE FALLA	52
4.4	CASO DE ESTUDIO III: CB HÍBRIDO ENSAMBLADO + DTSS	52
4.4.1	CONSIDERACIONES	52

4.4.2 CORRIENTES DE FALLA	53
4.4.3 VOLTAJE DE FALLA EN CA	54
CAPÍTULO 5 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS	55
5.1 CONCLUSIONES	55
5.2 TRABAJOS FUTUROS	56
REFERENCIAS	57