UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ANALISIS, DIAGNOSTICO, REDISEÑO Y CONTROL ELECTRONICO CA POR COMPUTADORA

POR:

ING. ARMANDO PAEZ ORDOÑEZ

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

MONTERRÉY, N. L. DICIEMBRE DE 1997

ANALISIS, DIAGNOSTICO, REDISEÑO Y CONTROL
ELECTRONICO DE MOTORES CA POR COMPUTADORA

TM
Z5853
.M2
FIME
1997
P3

1020121333

UNIVERSIDAD AUTONOMA DE NUEVO LEON

FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA Y ELECTRICA

DIVISION DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ANALISIS, DIAGNOSTICO, REDISEÑO Y CONTROL ELECTRONICO CA POR COMPUTADORA

POR:

ING. ARMANDO PAEZ ORDOÑEZ

T E S I S

EN OPCION AL GRADO DE MAESTRO EN CIENCIAS DE LA INGENIERIA CON ESPECIALIDAD EN POTENCIA

MONTERREY, N. L. DICIEMBRE DE 1997

0119-59160

TM
Z5853
.M2
FIME
1997
P3

FONDO
TESIS

CAPILLA ALFONSINA
FONDO
TESIS

Universidad Autónoma de Nuevo Leon
Facultad de Ingeniería Mecánica y Eléctrica
División de Estudios de Postgrado

Los miembros del comité de tesis recomendamos que la tesis Análisis, Diagnostico, rediseño y control electrónico de motores eléctricos de C.A. por computadora realizada por el Ing. Armando Páez Ordóñez sea aceptada para su defensa como opción al grado de Maestro en ciencias de la Ingeniería Eléctrica con especialidad en Potencia

El comité de tesis

Asesor
M.C. Agustín Iglesias Torres

Coasesor
M.C. Felix González Estrada

Coasesor
M.C. Luis M. Martínez Villarreal

Vo.Bo.
M.C. ROBERTO VILLARREAL GARZA

División de Estudios de Postgrado

San Nicolas de los Garza,N.L. a 2 de Diciembre de 1997

Diciembre de 1997

PROLOGO

La combinación de las computadoras y la electrónica de Potencia le ha dado un nuevo giro a la aplicación, análisis, diagnostico de verificacion,rediseño y control de los motores eléctricos de C.A. El Presente proyecto consiste en el desarrollo de software y equipo auxiliar de bajo costo para:
(Bajo norma NEMA, IEC, JEC, IEEE, AWG, EASA, ASTM.)
(para motores industriales de cualquier capacidad)

A) Analizar el funcionamiento de motores industriales de CA y CD calculando el Par, R .P.M., Eficiencia, Factor de potencia, Deslizamiento, Ampers, Potencia de entrada etc. . a diferentes HP'S de salida sin uso de dinamometro y Graficar estos .

B) Diagnosticar, verificar, y corregir las especificaciones de motores de CA.

C) Rediseñar un embobinado de un motor de CA para nuevas condiciones de operación (NUEVOS HP'S, R.P.M., VOLTAJE, FRECUENCIA, ETC.)

D) Diseño de un embobinado para un núcleo sin datos.

E) Prueba Computarizada de la laminación y del motor en general.

F) ANÁLISIS DE LOS SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO COMPUTARIZADO DE MOTORES DE . CA PARA EL AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA.

OBJETIVOS Y METAS

Desarrollar el software con un método económico para analizar, diagnosticar, verificar y rediseño motores eléctricos industriales de cualquier capacidad. Con énfasis en el ahorro de energía.
El desarrollo de estos programas se inicio realmente desde hace 20 años, como una necesidad en la asesoría de un servidor en mas de 40 empresas del país.
Estos programas se han estado utilizando satisfactoriamente en mas de 25 empresas del país.

Comprobar en la practica real los procedimientos establecidos en el software

Utilizarse con fines didácticos en las materias de maquinaria eléctrica en las carreras de Ingeniería electromecánica ,electrónica, e industrial.

Métodos de calculo bajo normas Internacionales reconocidas utilizando métodos economi cos.

Que los alumnos aprendan y apliquen las técnicas de Análisis y rediseño computarizado de motores eléctricos de alta eficiencia con énfasis en:

* Utilización de computadoras para su análisis y diseño.

* El ahorro de energía eléctrica.

* Contaminación ambiental.

* Control de calidad.

* Aplicación de las normas nacionales e internacionales y pueda aplicar esto en su vida profesional.

El efecto de este proyecto en la contaminación ambiental radica en la sustitución de motores de combustión interna por eléctricos en el transporte (Vehículos eléctricos tales como: trenes, metro, automóviles, camiones, etc.)

* Prestar este servicio a la industria.

* EL PODER HACER EN MENOS DE 5 MINUTOS UN DIAGNOSTICO DE UN MOTOR DE INDUCCIÓN TRIFASICO Y VERIFICAR SI SON CORRECTAS LAS ESPECIFICACIONES DEL EMBOBINADO. ERRORES EN TOMAR LOS DATOS DE UN MOTOR ANTIGUO QUEMADO FRECUENTEMENTE OCURREN. EN ESPECIAL CUANDO HAY MUCHAS VUELTAS DE ALAMBRE DELGADO. ESTOS ERRORES PUEDEN SER HECHOS POSIBLEMENTE POR CENTRO DE REPARACIÓN ANTERIORES.

LOS CÁLCULOS DE RE DISEÑO HECHOS MANUALMENTE. GENERALMENTE REQUIEREN AL MENOS DE ½ DÍA DE UN DISEÑADOR CON EXPERIENCIA DE DISEÑO DE MOTORES.
EL REDISENO TAMBIÉN PUEDE REALIZARSE CUANDO SE REQUIERE CAMBIOS EN VELOCIDAD (R.P.M.). VOLTAJE. HPS. CONEXIÓN. FASES , CALIBRES DE ALAMBRE.

Hasta ahora solo los fabricantes que manejan grandes volúmenes podrían tener un sistema computarizado, equipo y personal para el diagnostico verificación y diseño de motores eléctricos industriales.

Este método lo hará disponible para la mediana y pequeña industria, es común que en los talleres de rembobinados de motores alternen los datos (vueltas y calibres) de los motores o dañen la laminación con altas temperaturas por soplete u hornos, este meto do permitirá verificarlos y corregirlos.

En México el rediseño de motores eléctricos en los talleres de reconstrucción se hace empíricamente por prueba y error costosos.

Las Universidades y tecnológicos en México no estudian el análisis, diagnostico de verificación y re diseño de motores industriales.(CON ÉNFASIS EN EL AHORRO DE ENERGÍA)

Modernizar y actualizar con métodos normalizados y computarizados la aplicación industrial y la enseñanza en las clases y laboratorios de:

* Maquinas eléctricas de inducción

* El laboratorio podrá ser autofinanciable en su mantenimiento y operación realizando trabajos de pruebas de control de calidad de investigación.

* AHORRO DE ENERGÍA ELÉCTRICA EN EL REDISEÑO DE MOTORES INDUSTRIALES Y SUS SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO

FIME UANL puede dar este servicio.

Para motores industriales de 100'S o 1000'S de HPS no requiere dinamometros costosos

Métodos de calculo bajo normas internacionales reconocidas utilizando Métodos económicos.

Tomando como base la experiencia de un servidor a nivel nacional e internacional en el tema se desarrollo el software siguiendo las normas y comprobándolo con casos reales en el laboratorio y en la industria nacional.

Los programas se realizaran en TURBO PASCAL y QuickBasic. para computadoras IBM o compatibles, los primeros programas fueron desarollados en calculadoras programables de Texas instruments y HP

ING. ARMANDO PAEZ ORDOÑEZ

ANÁLISIS, DIAGNOSTICO, REDISEÑO Y CONTROL ELECTRÓNICO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE C.A. POR COMPUTADORA

CONTENIDO:

CAPITULO 1 INTRODUCCIÓN

Teoría Básica de los Motores de Inducción..... 1

El Campo Giratorio..... 2

Partes Mecánicas..... 12

CAPITULO 2

Devanados de C.A. Polifasicos..... 17

Tipos de Devanados..... 24

Arrollamientos Polifasicos Imbricados..... 25

Arrollamientos Polifasicos Ondulados..... 34

Conexiones Y-2Y..... 37

Conexiones DELTA Y DOBLE DELTA..... 38

Diagramas Esquemáticos para Devanados Trifasicos..... 40

CAPITULO 3

La FEM inducida en un Devanado de C.A..... 44

El Factor de Distribución..... 44

El Factor de Paso..... 48

Ejemplos..... 51

Devanados de dos Velocidades..... 53

M,todo Practico para realizar Diagramas de Polo Consecuente..... 58

Ejemplos..... 64

CAPITULO 4

La FMM de un Devanado de C.A..... 67

La FMM Alterna..... 67

La FMM Giratoria..... 73

Factores de Distribución y de Paso para las Armónicas..... 79

Ejemplo..... 79

CAPITULO 5

El Motor de Inducción como un Transformador..... 84

El MI en reposo (Devanado de Rotor Abierto)..... 84

El MI en reposo (Devanado del Rotor Cerrado)..... 87

El MI cuando gira..... 89

Circuito Equivalente del MI Polifasico..... 90

El Diagrama Vectorial del MI Polifasico..... 92

CAPITULO 6

Determinación de los Par metros del MI Polifasico..... 93

Determinación de r1 y corrección por temperatura..... 93

Prueba de Rotor Bloqueado (A pleno voltaje)..... 94

Prueba de Rotor Bloqueado (A voltaje reducido)..... 95

Prueba de Vacío..... 96

Variación de los par metros con el deslizamiento..... 97

Efecto de la Variación de voltaje y frecuencia en las
características del Motor de Inducción..... 98

Ejemplo..... 99

Diagrama de Flujo del Programa "Par metros del MI"..... 105

Prueba de Funcionamiento..... 106

Prueba de Saturación en Vacío..... 110

Características par-velocidad..... 111

Prueba de Elevación de Temperatura..... 121

Operación del Dinamametro de Conexión Ward Leonard..... 6-35

CAPITULO 7

RELACIONES DE POTENCIA Y PAR MOTOR DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.....126

PAR MOTOR MÁXIMO.....127

CLASIFICACIÓN "NEMA" DE MOTORES DE INDUCCIÓN.....128

BALANCE DE POTENCIAS, EFICIENCIA DEL MOTOR DE INDUCCIÓN.....129

DIAGRAMA DE FLUJO DEL PROGRAMA "ANÁLISIS DEL MOTOR DE
INDUCCIÓN TRIFASICO".....130

EJEMPLOS DEL PROGRAMA ANÁLISIS DEL MOTOR DE INDUCCIÓN
TRIFASICO.....131

FUNCIONAMIENTO DE LA MAQUINA DE INDUCCIÓN COMO FRENO Y
GENERADOR.....135

CAPITULO 8

PROTECCIÓN, CIRCUITOS DE ARRANQUE Y CONTROL DE MOTORES DE CA DE INDUCCIÓN

SIMBOLOGIA.....137

ARRANCADORES MAGNÉTICOS REVERSIBLES Y NO REVERSIBLES..... 140

ARRANQUE Y CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES POLIFASICOS DE INDUCCIÓN 143

ARRANCADOR A TENSIÓN REDUCIDA 144

A) POR RESISTENCIAS O REACTANCIAS 145
B) POR AUTOTRANSFORMADOR 146
C) ESTRELLA - DELTA 147
D) CON UNA SECCIÓN DEL ENBOBINADO 148

ARRANCADORES PARA MOTORES DE ROTOR EMBOBINADO..... 149

CAPITULO 9

CONTROL DE VELOCIDAD DE MOTORES DE INDUCCIÓN

INTRODUCCIÓN.....150

COMPARACIÓN ENTRE EL MOTOR DE INDUCCIÓN DE CA Y EL MOTOR DE CD.....152

SISTEMAS DE CONTROL DE CA VS CD.....153

CLASIFICACIÓN DE LOS SISTEMAS DE CONTROL DE VELOCIDAD 154

CONTROL DE VELOCIDAD POR FRECUENCIA PRIMARIA POR MEDIO DE INVERSORES..... 155

CLASIFICACIÓN DE INVERSORES 156

INVERSOR TIPO VSI FUENTE DE VOLTAJE..... 156

ANÁLISIS DE ARMÓNICAS 158
INVERSOR VSI DE 12 PASOS 160

DIAGRAMA DE BLOCKS DE UN CONTROLADOR VSI PARA MOTOR DE INDUCCIÓN 167
TRANSISTORES DE POTENCIA. 168

INVERSORES CON TRANSISTORES DE POTENCIA 169

FUNCIONAMIENTO EN BAJA FRECUENCIA CON V/F INCREMENTADO (VOLTAGE BOOST) 171

INVERSOR TIPO FUENTE DE CORRIENTE CSI 173

EFECTO DE REGENERACIÓN EN UN INVERSOR TIPO VSI Y CSI 174

DIAGRAMA DE BLOCKS DE UN CONTROLADOR PARA MOTOR DE CA CON INVERSOR TIPO CSI 174

INVERSOR CSI CON FRECUENCIA Y ESTABILIDAD MEJORADA 175

INVERSOR TIPO PWM (MODULACIÓN DEL ANCHO DEL PULSO) 177

CONTROL COMPUTARIZADO PARA MOTOR DE CA (PWM) 177a

CONTROL POR VOLTAJE PRIMARIO 178

CONTROL DEL MOTOR CA DE ROTOR EMBOBINADO POR RESISTENCIAS EN EL ROTOR 181

CONTROL POR LA RECUPERACIÓN DE LA ENERGÍA DEL ROTOR 184

SISTEMA KRAMER ESTÁTICO 185

SISTEMA KRAMER ESTÁTICO SIN CONMUTADOR 186a

SISTEMA SCHERBIUS 187

SISTEMA SCHERBIUS ESTÁTICO 188

SISTEMA SCHERBIUS ESTÁTICO SUPERSINCRONICO 191

MOTOR DE CA/CD SIN CONMUTADOR 194

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES PARA LA SELECCIÓN Y APLICACIÓN DE LOS DIFERENTES SISTEMAS DE CONTROL ELECTRÓNICO 195

CAPITULO 10

FUNDAMENTOS EN EL REDISEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS DE CORRIENTE ALTERNA

Cambio de Calibres..... 198

Cambio en Voltaje..... 200

Cambio de Potencia en HP'S o KW..... 203

Cambio de Frecuencia..... 207

Cambio de Circuitos en Paralelo..... 210

Cambio de paso de Bobina..... 213

Cambio de Conexión..... 216

Formula Maestra..... 218

Notas en Cambio de Polos (VELOCIDAD)..... 220

CAPITULO 11.

ANÁLISIS, DIAGNOSTICO Y REDISEÑO DE MOTORES ELÉCTRICOS CA POR COMPUTADORA

INSTRUCCIONES BÁSICAS..... 224

EJEMPLO DE OPERACIÓN..... 229

DIAGNOSTICO MOTOR DE 125 HPS, 1800 R.P.M.

DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA DIAGNOSTICO MOTOR CA..... 241

REDISEÑO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN..... 242

DIAGRAMA DE FLUJO PROGRAMA REDISEÑO DEL MOTOR CA..... 246

EJEMPLO REDISEÑO MOTOR 125 HPS DE 1800 R.P.M. A 1200 R.P.M..... 247

DISEÑO PARA NÚCLEO SIN DATOS MOTOR 75 HPS, 1800 R.P.M..... 253

DIAGRAMA DE FLUJO DISEÑO PARA NÚCLEO SIN DATOS 255

CÁLCULOS DE PRUEBA PEDIDAS DEL NÚCLEO(TOROIDE)..... 265

REDISEÑO UNA A DOS VELOCIDADES.....269

A) PAR CONSTANTE

B) HPS CONSTANTES

C) PAR VARIABLE

ANÁLISIS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE INDUCCIÓN BAJO NORMAS JEC-37 275

CALCULO DEL EMBOBINADO DEL ROTOR..... 279

CONCLUSIONES..... 281

ACERVO BIBLIOGRÁFICO Y DE REVISTAS. 282