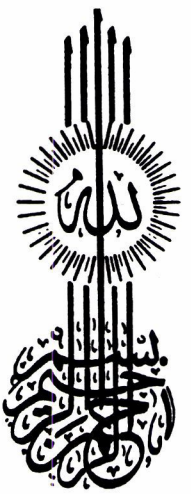
بسم الله الرحمن الرحيم

ملحوظة:

تعتذر إدارة النشر العلمي والمطابع عن عدم وضوح بعض الإشكال و ذلك لعدم وضوحها في الأصل المترجم.

التحكم والاستقرارية لنظام القدرة

تأليف

الدكتور ب. م. أندرسون
أستاذ الهندسة الكهربائية

الدكتور عبدالعزيز أ. فؤاد
أستاذ الهندسة الكهربائية

جامعة ولاية أيوا

ترجمة

الدكتور عبدالعزيز عبدالله السليمان
أستاذ الهندسة الكهربائية

الدكتور عبدالله محمد الشعلان
أستاذ الهندسة الكهربائية

جامعة الملك سعود

النشر العلمي والمطابع - جامعة الملك سعود

ص.ب ٦٨٩٥٣ - الرياض ١١٥٣٧ - المملكة العربية السعودية

ⓒ جامعة الملك سعود، ١٤٢٣هـ (٢٠٠٢م)

هذه ترجمة عربية مصرح بها لـ

This arabic translation of Power System Control & Stability
By: P. M. ANDERSON and A. A. FOUAD
Published by: © 1986 The IOWA State University Press, Ames, IOWA, U. S. A.

فهرسة مكتبة الملك فهد الوطنية أثناء النشر

أندرسون، ب. م.
التحكم والاستقرارية لنظام القدرة/ ب. م. أندرسون، عبد العزيز أ. فؤاد؛
ترجمة عبد العزيز عبد الله السليمان، وعبد الله محمد الشعلان – الرياض.
٧٨٢ ص ١٧ × ٢٤سم
ردمك: ٣- ٠٩٣ - ٣٧ - ٩٩٦٠
١ - الهندسة الكهربائية أ- فؤاد، عبد العزيز أ. فؤاد (م. مشارك)
ب – السليمان، عبدالعزيز عبدالله (مترجم) ج- الشعلان، عبد الله محمد (مترجم) د- العنوان
ديوي ٣ ، ٦٢١ ٢١/٠١٩١

رقم الإيداع: ٢١/٠١٩١
ردمك: ٣ – ٠٩٣ – ٣٧ - ٩٩٦٠

حكمت هذا الكتاب لجنة متخصصة، شكلها المجلس العلمي بالجامعة، وقد وافق المجلس العلمي على نشره - بعد اطلاعه على تقارير المحكمين - في اجتماعه العشرين للعام الدراسي ١٤١٨/١٤١٩هـ المعقود في تاريخ ١٤١٩/٢/٢٠هـ الموافق ١٩٩٨/٦/١٤م.

النشر العلمي والمطابع ١٤٢٣هـ

مقدمة المترجمين

تعتبر الترجمة في عصرنا الحديث عنصرًا حيويًا ومصدرًا أساسيًا لإثراء اللغة، وتجديد حيويتها، واتساع انتشارها، وتحديث مفرداتها وصيغها ومفاهيمها، لذا فمن جملة الأسباب التي حفزتنا إلى ترجمة مثل هذا الكتاب ما يلي:

١ - أهمية التعريب وبخاصة في المجالات العلمية والتقنية ومدى أهمية ذلك في إثراء اللغة العربية وتحديثها وابتكار مدلولات ومعانٍ ومصطلحات جديدة لها.

٢ - تمكين اللغة العربية من أن تأخذ مكانتها بين اللغات العالمية الحية في مجال العلوم والتقنية الحديثة وبجانب مكانتها السامية في مجالات العلوم الأخرى.

عندما شرعنا في التفكير في أنسب الكتب، وأكثرها غزارة في الفحوى والمضمون وتتناول موضوع "استقرارية أنظمة القدرة الكهربائية" ليكون عونًا ومرجعًا للدارسين والمهندسين والباحثين في مجال الهندسة الكهربائية، لم يكن ذلك هدفًا سهل المنال وذلك لعملية الاختيار الشاقة والمضنية من بين عشرات الكتب المتراصة على رفوف المكتبات أو المتاحة كمقررات ومراجع في الجامعات بعدة لغات ولعديد من المؤلفين. لذا يُعزى اهتمامنا واختيارنا لترجمة هذا الكتاب لعدة أسباب من أهمها:

١ - يعتبر هذا الكتاب من أوسع الكتب انتشارًا، وأكثرها تداولا في كثير من الجامعات العالمية وذلك لسمعة مؤلفَيْه الواسعة في مجال الاستقرارية والتحكم في النظم الكهربائية من جهة، ولأن هذا الكتاب يعتبر بمثابة العمود الفقري في تمثيل أنظمة القدرة الكهربائية ووصفها بصورة دقيقة وبنماذج مختلفة من جهة أخرى. وللدلالة أيضًا على مدى أهمية هذا الكتاب وسعة انتشاره، تبنى نشره معهد المهندسين الكهربائيين

والالكترونيين المعروف بالـ *IEEE* بدلاً من نشره بواسطة جامعة أيوا.

٢ - يقدم هذا الكتاب الأسس النظرية لموضوع الاستقرارية والتحكم في أنظمة القوى الكهربائية، ويتدرج في العمق والتعقيد ليصبح ملائمًا للمستويات المتقدمة لطلاب الهندسة الكهربائية ومناسبًا للباحثين والمتخصصين وطلاب الدراسات العليا لغزارة مادته وتغطيتها لجوانب متعددة.

٣ - يحتوي هذا الكتاب على أمثلة كثيرة محلولة باستخدام الحاسوب، ويقدمها بأسلوب منطقي متتابع وبدرجة متدرجة في الشمولية والتفاوت والتعقيد.

وحيث إننا لم نجد كتابًا معرّبًا أفضل في موضوع الاستقرارية، لذا فقد بذلنا في هذا الكتاب جهدًا مضنيًا ووقتًا طويلاً في ترجمته إلى اللغة العربية الفصحى قدر الإمكان وفي تعريب وتطويع الكثير من المصطلحات والمفاهيم بالرجوع إلى العديد من المعاجم الحديثة المعتمدة والمتخصصة. وحيث إن ثمة تغايرًا في تعريب بعض المصطلحات والمعاني في بعض تلك المعاجم، فقد عمدنا إلى استنباط المصطلح المعرّب من مدلولاته ومعانيه ومشتقاته الأصلية، ونأمل أن نكون قد وفقنا في ذلك.

نرجو من الله العلي القدير أن يكون هذا العمل خالصًا لوجهه الكريم، وأن يكون هذا الكتاب عونًا للطالب والأستاذ والباحث، وأن نكون بهذا الجهد المتواضع قد وفقنا في إضافة شيء مفيد في هذا المجال إلى المكتبة العربية، سائلين المولى جلت قدرته أن يوفقنا لما فيه الخير والسداد، وأن يكتب لأمتنا العربية والإسلامية الخير والسؤدد فهو نعم المولى ونعم النصير، وهو الموفق والهادي إلى سبيل الرشاد.

مقدمة المؤلفين

وضع هذا الكتاب من أجل أولئك المهندسين المتمرسين أو للطلاب ذوي المستويات المتقدمة الذين لديهم اهتمام بالسلوك الدينامي لأنظمة القدرة. ولقد تمخض العمل من الحاجة إلى منهج حديث في ذات الموضوع في جامعة ولاية أيوا الذي يستفيد من خبرة مسبقة في مجال تحليل نظم القدرة (والماكينات) الكهربائية، ونظريات الدوائر، وأنظمة التحكم، وتطبيقات الحاسوب. والغرض من هذا الكتاب هو فحص النماذج الرياضية لمركبات النظام بتفاصيل أكثر بغية تحليل سلوك النظام عن طريق استخدام الوسائط الحسابية؛ لذا فقد تم استخدام العمليات الحسابية التمثيلية والرقمية حيثما كانت أي منهما أكثر ملاءمة وأسهل تطبيقًا.

هناك العديد من الكتب التي ألفت في موضوع استقرارية نظم القدرة؛ فعلى سبيل المثال ثمة مجلدات ممتازة ألفها *E. W. Kimbark* وكذلك *S. B. Crary*. ونحن نعتقد - على أي حال - بأن هناك حاجة إلى كتاب يركز على نمذجة مفصلة مناسبة للحل بواسطة الحاسوب، ويأخذ في الاعتبار كمية المعلومات الجديدة المكثفة التي نُشرت خلال العشرين سنة الماضية.

هذا الكتاب هو الأول من سلسلة تتكون من كتابين، تم تنسيقه في جزأين. يستعرض الجزء الأول نظرية الاستقرارية لنظم القدرة ذات الاستخدام الشائع خلال الخمسينيات، بينما يتم في الجزء الثاني تغطية عزم الازدواج الكهرومغناطيسي، بالإضافة إلى تقديم معالجة مستفيضة لنظم الاستثارة. كما اختتم هذا المجلد بفصل يتعامل مع أنظمة الماكينات (الآلات) المتعددة مع أحمال ممثّلة لمعاوقات ثابتة. وفي المجلد الثاني ستُطوَّر طريقة متكاملة للتعامل مع الاستقرارية والتحكم في نظام القدرة مع

اهتمام خاص موجه لإنتاج عزم الازدواج الميكانيكي.

عرضت مادة هذا الكتاب بتفاصيل كافية لتحقيق المتطلبات للطالب المتقدم ولكي تستخدم أيضًا في الفصول الدراسية. ولقد عني به أيضًا ليكون ذا جدوى للمهندسين المتمرسين. وقد تم تبني الطرق الحديثة للصياغات الرياضية لمعادلات النظام كلما كان ذلك مناسبًا وممكنًا ؛ ويتمثل ذلك في استخدام معادلات الحالة الفراغية والمصفوفات... إلخ. وهناك فارق كبير عن الأعمال السابقة يكمن في استخدام الصيغة المعدّلة من تحويل بارك *Park's transformation.* ونحس بأن المزايا التي ستكتسب عند استخدام هذه الصيغ ستطغى على الصعوبات التي يعانى منها عند استخدام الصيغ المألوفة.

وقد ظهر اسم مؤلّفين فقط على غلاف هذا الكتاب ؛ ولكنهما يعرفان حق المعرفة بأن ثمة إسهامات غزيرة ؛ في هذا الكتاب لأناس آخرين، فطلابنا - وهم أكثر من أن تذكر أسماؤهم - هم المشاركون الأصيلون وذلك عن طريق اتصالاتهم ومقترحاتهم أثناء مرحلة إعداد مواد هذا الكتاب. كذلك زملاؤنا، ونخص بالذكر ديفيد روب، وكينيث سي كرومبيل، وجون آر بافلات ؛ فهؤلاء قدموا مساهمات قيّمة وقاموا بمراجعة نتائج الحاسوب للمسائل والأمثلة. ونشيد أيضا بمساهمة بعض الزملاء في قطاع الصناعة، وبخاصة كليفورد سي ينج، التي لم تقتصر على التصويبات فحسب، ولكن لإرشادهم المؤلفين لبعض النقاط الدقيقة في تحليل نظم القدرة. فنحن ننوه بمساهماتهم الكريمة مع بالغ الشكر والتقدير.

المحتويات

صفحة

مقدمة المترجمين..... هـ

مقدمة المؤلفين ..... ز

الفصل الأول: استقرارية أنظمة القدرة ١

(١,١) مقدمة ١

(١,٢) متطلبات الاعتمادية لخدمة القدرة الكهربائية ٢

(١,٣) وصف المشكلة ٤

(١,٤) تأثير الصدمة في مركبات الأنظمة ١١

(١,٥) طرق المحاكاة..... ١٥

مسائل الفصل الأول ١٨

المراجع..... ٢٠

الفصل الثاني: النموذج الرياضي الأوّلي..... ٢١

(٢,١) معادلة التأرجح..... ٢١

(٢,٢) الوحدات..... ٢٥

(٢,٣) العزم الميكانيكي ٢٩

(٢,٤) العزم الكهربائي ٣٣

(٢,٥) منحنى زاوية القدرة لماكينة متزامنة ٣٦
(٢,٦) الترددات الطبيعية لتذبذب ماكينة متزامنة ٤١
(٢,٧) نظام ماكينة واحدة إزاء موصل عمومي لامتناهٍ - النموذج الكلاسيكي ٤٤
(٢,٨) معيار المساحة المتساوية ٥٣
(٢,٩) نموذج كلاسيكي لنظام متعدد الماكينات ٥٩
(٢,١٠) دراسة الاستقرارية الكلاسيكية لنظام ذي تسعة موصلات عمومية ٦٢
(٢,١١) عيوب النموذج الكلاسيكي ٧٤
(٢,١٢) رسم تخطيطي لماكينة أحادية ٧٨
مسائل الفصل الثاني ٨١
المراجع ٨٨

الفصل الثالث: استجابة النظام لاضطرابات صغيرة ٨٩
(٣,١) مقدمة ٨٩
(٣,٢) أنواع المشكلات المدروسة ٩٠
(٣,٣) الماكينة المتزامنة غير المجهزة بمنظم ٩٣
(٣,٤) حالات التذبذب لنظام متعدد الماكينات غير المجهزة بمنظمات ١٠٠
(٣,٥) الماكينة المتزامنة المجهزة بمنظم..... ١١١
(٣,٦) توزيع صدمات القدرة ١١٧
مسائل الفصل الثالث ١٣٥
المراجع ١٣٦

الفصل الرابع: الماكينة التزامنية ١٣٧
(٤,١) مقدمـة ١٣٧
(٤,٢) تحويلات بارك ١٣٨
(٤,٣) معادلات وصلية الدفق ١٤١
(٤,٤) معادلات الفولتية ١٤٦
(٤,٥) صياغة معادلات فضا الحالة ١٥٠
(٤,٦) صياغة التيـار ١٥١
(٤,٧) تحويل لكل وحدة ١٥٣
(٤,٨) تطبيع معادلات الفولتية ١٦٥
(٤,٩) تطبيع معادلات العزم ١٧١
(٤,١٠) العزم والقدرة ١٧٥
(٤,١١) الدائرة المكافئة لماكينة تزامنية..... ١٧٨
(٤,١٢) نموذج فضاء - الحالة لوصلية الدفق ١٨٢
(٤,١٣) معادلات الحمل ١٩٠
(٤,١٤) المحاثة دون العابرة والعابرة وثوابت الزمن ١٩٩
(٤,١٥) النماذج المبسطة للماكينة التزامنية ٢٠٦
(٤,١٦) النماذج الديناميكية لمولد التربينة ٢٣٤
مسائل الفصل الرابع ٢٤٠
المراجع ٢٤٦

الفصل الخامس: تمثيل ومحاكاة الماكينات التزامنية ٢٤٧

(٥,١) مقدمة ٢٤٧

(٥,٢) معادلات حالة الاستقرار والمخططات الطورية ٢٤٨

(٥,٣) ربط الماكينة في موصل لا نهائي خلال خط النقل ٢٥٢

(٥,٤) ماكينة مربوطة بموصل عمومي لا نهائي مع حمل محلي عند طرفي الماكينة ٢٥٤

(٥,٥) إيجاد شروط حالة الاستقرار ٢٥٩

(٥,٦) أمثلة ٢٦٢

(٥,٧) الشروط الابتدائية لنظام متعدد المكائن ٢٧٤

(٥,٨) تحديد متغيرات ماكينة من بيانات المصنع ٢٧٥

(٥,٩) محاكاة المكائن المتزامنة بالحاسوب التشابهي ٢٨٣

(٥,١٠) المحاكاة الرقمية للمكائن التزامنية ٣٠٥

مسائل الفصل الخامس ٣٣٠

المراجع ٣٣٢

الفصل السادس: النماذج الخطية للماكينة التزامنية ٣٣٣

(٦,١) مقدمة ٣٣٣

(٦,٢) التقريب الخطي لفضاء الحالة لنموذج التيار لمولد ٣٣٥

(٦,٣) التقريب الخطي لمعادلات الحمل لمسألة الماكينة الواحدة ٣٤٠

(٦,٤) تقريب خطي لنموذج وصلية الدفق ٣٤٦

(٦,٥) النموذج الخطي المبسط ٣٥٣

(٦,٦) الرسم التخطيطي ٣٦٨
(٦,٧) تمثيل فضاء الحالة لنموذج مبسط ٣٧٠
مسائل الفصل السادس ٣٧١
المراجـع ٣٧٢

الفصل السابع: أنظمة الاستثارة ٣٧٣
(٧,١) نظرة مبسطة للتحكم في الاستثارة ٣٧٣
(٧,٢) تشكيلات التحكم ٣٧٧
(٧,٣) تشكيلات الاستثارة النموذجية ٣٧٩
(٧,٤) تعريفات نظام التحكم في الاستثارة ٣٩١
(٧,٥) منظم الفولتية ٤٠١
(٧,٦) بناء المستثير ٤١٠
(٧,٧) استجابة نظام الاستثارة ٤٣٥
(٧,٨) وصف فضاء الحالة لنظام الاستثارة ٤٦٢
(٧,٩) تمثيل حاسوبي لأنظمة الاستثارة ٤٧٣
(٧,١٠) ثوابت النظام النموذجية ٤٨٥
(٧,١١) تأثير الاستثارة في أداء المولد ٤٩١
مسائل الفصل السابع ٤٩٢
المراجـع ٤٩٨

الفصل الثامن: تأثير الاستثارة في الاستقرارية ٥٠١
(٨,١) مقدمـة ٥٠١

(٨,٢) تأثير الاستثارة في حدود قدرة المولد ٥٠٦
(٨,٣) تأثير نظام الاستثارة في الاستقرارية العابرة ٥١٢
(٨,٤) تأثير الاستثارة في الاستقرارية الدينامية ٥٢٤
(٨,٥) تحليل جذور المحل الهندسي لماكينة مزودة بمنظم وموصلة بموصل
عمومي لانهائي ٥٣٣
(٨,٦) التمثيل التقريبي للنظام ٥٤٣
(٨,٧) إشارات التثبيت المكملة ٥٥٢
(٨,٨) التحليل الخطي للمولد المستقر ٥٦٢
(٨,٩) دراسات الحاسوب ٥٦٧
(٨,١٠) دراسات الاستقرارية العابرة بواسطة الحاسوب الرقمي ٥٧٧
(٨,١١) بعض التعليقات العامة على تأثير الاستثارة في الاستقرارية ٥٩٢
مسائل الفصل الثامن ٥٩٦
المراجع ٥٩٨

الفصل التاسع: الأنظمة متعددة الماكينات ذات الأحمال ثابتة المعاوقة ٦٠١
(٩,١) مقدمة ٦٠١
(٩,٢) وصف المشكلة ٦٠١
(٩,٣) تمثيل مصفوفات الشبكات الخاملة ٦٠٤
(٩,٤) تحويل محاور الماكينة إلى مرجع النظام ٦١١
(٩,٥) العلاقة بين تيارات وفولتيات الماكينة ٦١٢
(٩,٦) رتبة النظام ٦١٧
(٩,٧) ماكينات ممثلة بالطرق الكلاسيكية ٦١٩

(٩,٨) النموذج الخطي للشبكة ٦٢٤
(٩,٩) صيغ هجينة ٦٣١
(٩,١٠) معادلات الشبكة مع نموذج وصلية الدفق ٦٣٤
(٩,١١) معادلات النظام الكلية ٦٣٦
(٩,١٢) دراسة نظام متعدد المكائن ٦٣٩
مسائل الفصل التاسع ٦٤٦
المراجع ٦٤٧

الملاحق

الملحق (أ) متطابقات في حساب المثلثات خاصة بالأنظمة ثلاثية الطور ... ٦٤٩
الملحق (ب) بعض الطرق الحاسوبية لحل المعادلات التفاضلية ٦٥١
الملحق (جـ) التحويل إلى الصورة لكل وحدة (نظام لكل وحدة) ٦٧٥
الملحق (د) بيانات نظم نمطية ٦٩٢
الملحق (هـ) تعريفات نظام تحكم الاستثارة ٧٢٤

ثبت المصطلحات

أولاً: عربي - إنجليزي ٧٤١
ثانياً: إنجليزي – عربي ٧٤٩
كشاف الموضوعات ٧٧٥
التصويبات .....