



Doctoral Thesis

An advanced frequency-domain code for boiling water reactor (BWR) stability analysis and design

Author(s):

Askari, Behrooz

Publication Date:

2008

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-005686077> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss ETH No. 17720

**An Advanced Frequency-Domain Code
for Boiling Water Reactor (BWR)
Stability Analysis and Design**

A Dissertation Submitted to the
ETH ZÜRICH

for the degree of
Doctor of Technical Sciences

Presented by

Behrooz Askari

Master in Nuclear Engineering

Born in 21/03/1968
Italian

Accepted on the recommendation of

Prof. L. Guzzella
Prof. G. Yadigaroglu
PD Dr. J. Halin

2008

Abstract

The two-phase flow instability is of interest for the design and operation of many industrial systems such as boiling water reactors (BWRs), chemical reactors, and steam generators. In case of BWRs, the flow instabilities are coupled to the power instabilities via neutronic-thermal hydraulic feedbacks. Since these instabilities produce also local pressure oscillations, the coolant flashing plays a very important role at low pressure.

Many frequency-domain codes have been used for two-phase flow stability analysis of thermal hydraulic industrial systems with particular emphasis to BWRs. Some were ignoring the effect of the local pressure, or the effect of 3D power oscillations, and many were not able to deal with the neutronics-thermal hydraulics problems considering the entire core and all its fuel assemblies.

The new frequency domain tool uses the best available nuclear, thermal hydraulic, algebraic and control theory methods for simulating BWRs and analyzing their stability in either off-line or on-line fashion. The novel code takes all necessary information from plant files via an interface, solves and integrates, for all reactor fuel assemblies divided into a number of segments, the thermal-hydraulic non-homogenous non-equilibrium coupled linear differential equations, and solves the 3D, two-energy-group diffusion equations for the entire core (with spatial expansion of the neutron fluxes in Legendre polynomials). It is important to note that the neutronics equations written in terms of flux harmonics for a discretized system (nodal-modal equations) generate a set of large sparse matrices. The eigenvalue problem associated to the discretized core statics equations is solved by the implementation of the implicit restarted Arnoldi method (IRAM) with implicit shifted QR mechanism.

The results of the steady state are then used for the calculation of the local transfer functions and system transfer matrices. The later are large-dense and complex matrices, (their size for a large reactor could reach 20 Gigabytes) that it is not possible to load into RAM memory of an operating system with 32 bit architecture. A special procedure has been developed within the MATLAB environment to remove this memory limitation, and to invert such large matrices and finally obtain the reactor transfer functions that enable the study of system stability.

Various applications of the present frequency-domain code to a typical BWR fuel assembly, a BWR core, and to a chemical reactor showed a good agreement with reference results.

Sommario

L'instabilità del flusso bifase è d'interesse per la progettazione ed esercizio di molti sistemi industriali come reattori ad acqua bollente, reattori chimici e generatori di vapore. Nel caso dei reattori ad acqua bollente, le instabilità di flusso sono accoppiate ad instabilità di potenza attraverso i *feedback* tra neutronica e termoidraulica. Siccome queste instabilità causano anche oscillazioni di pressione locali, il *flashing* del refrigerante gioca un ruolo molto importante a bassa pressione.

Molti codici in dominio di frequenza sono stati usati per analizzare la stabilità dei flussi bifase in sistemi industriali, con particolare attenzione ai reattori ad acqua bollente. In alcuni di questi codici l'effetto della pressione locale o l'effetto delle oscillazioni della distribuzione tridimensionale di potenza sono trascurati, altri codici invece non sono in grado di simulare il problema accoppiato neutronica-termoidraulica esteso all'intero nocciolo, includendo tutte gli elementi di combustibile.

Il nuovo codice in dominio di frequenza si basa sullo stato dell'arte in metodi nucleari, termoidraulici, algebrici e di teoria di controllo per simulare i reattori ad acqua bollente e analizzare la loro stabilità in modo *off-line* oppure *on-line*. Il nuovo codice acquisisce dai *file* dell'impianto attraverso un'interfaccia tutte le informazioni necessarie; per ciascun elemento di combustibile, diviso in un certo numero di nodi assiali, risolve ed integra il sistema di equazioni differenziali corrispondente al modello di termoidraulica in non equilibrio e non omogeneo e risolve per l'intero nocciolo del reattore le equazioni di diffusione a due gruppi in tre dimensioni (con espansione spaziale del flusso basata sui polinomi di Legendre). È importante notare che le equazioni di neutronica formulate in termini di armoniche del flusso neutronico per un sistema discreto (equazioni nodali-modali) generano una serie di matrici sparse di grandi dimensioni. Il problema agli autovalori associato alle equazioni discretizzate di statica del nocciolo è risolto implementando il metodo implicito di Arnoldi con il meccanismo QR.

I risultati dello stato stazionario sono poi utilizzati per il calcolo delle funzioni di trasferimento locali e per il sistema di matrici di trasferimento. Queste sono matrici dense a numeri complessi e di grandi dimensioni (possono arrivare fino a 20 Gigabyte), per questo non è possibile memorizzarle nella memoria RAM con un sistema operativo basato sull'architettura a 32 bit. Una procedura particolare è stata sviluppata all'interno dell'ambiente MATLAB, per rimuovere questa limitazione sulla memoria e per consentire di invertire matrici di grandi dimensioni ed ottenere le funzioni di trasferimento necessarie per la valutazione della stabilità del sistema da analizzare.

Il nuovo codice in dominio di frequenza è stato applicato allo studio di un tipico canale bollente, di un intero nocciolo di un reattore ad acqua bollente e di un reattore chimico. I risultati ottenuti sono in buon accordo con quelli di riferimento.