

Coordinated transmission expansion planning of future interconnected power systems

A dissertation submitted to the
ETH Zurich

for the degree of
Doctor of Science

presented by
ANTONIOS PAPAEMMANOUIL
Dipl.Ing. University of Patras
(School of engineering)
born October 28th, 1980
in Athens, Greece

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. Göran Andersson, examiner
Prof. Dr. Tomás Gómez San Román, co-examiner

Abstract

Electricity is a substantial element in modern societies and no reduction of power consumption is foreseen in the future. Hence, in order to achieve the target of sustainable development, it is important to develop the power systems so that future generations will be able to cover the need in electric power in a reliable, economical and environmental friendly way. The first two parts have been already included in the traditional power systems planning, however in order to consider environmental aspects and development in an uncertain environment, new approaches are needed. This dissertation focuses in the long-term transmission system planning of interconnected power systems under the consideration of energy policy implementations and their impact on marginal production costs.

The proposed methodology is based on a semi-dynamic heuristic approach, that solves the social welfare maximization problem for several discrete steps considering different preferences for energy policy or transmission network reinforcements. The methodology consists of two parts, one part includes the multi-criteria analysis and provides short-term information to the decision maker and the second part includes a cost-benefit analysis that accommodates the decision maker with long-term information of economic profitability. This integrated multi-criteria approach allows the identification of the optimal configuration of the transmission system assuming variations of marginal production costs, generation mix development and load profiles. The transmission planning process includes the identification of candidate transmission plans and the evaluation of identified reinforcements.

Two power system models have been developed based on publicly available data and a proposed reduction technique for large-scale power systems. Three are the major indicators of the profitability of a reinforcement that represent the environmental benefits, the benefits in the congestion and the benefits to cost ratio. The final output is illustrated in trade-off curves providing sufficient information to the decision maker.

Kurzfassung

Elektrizität ist ein zentrales Gut der heutigen, modernen Gesellschaft. Mittel bis langfristig ist keine Reduzierung des Stromverbrauchs absehbar, da elektrische Energie ein wichtiger Treiber für Wirtschaft und Innovation ist. Das Ziel einer nachhaltigen und effizienten Energieversorgung ist die zuverlässige, wirtschaftliche und umweltfreundliche Deckung der Nachfrage nach elektrischer Energie. Die traditionelle Netzplanung, wie sie derzeit in vielen Unternehmen durchgeführt wird, berücksichtigt vor allem Zuverlässigkeits- sowie Wirtschaftlichkeitsaspekte. Umweltaspekte, sowie die Einbindung von Unsicherheiten, wie z.B. wechselnde, politischen Rahmenbedingungen erfordern neue, innovative Ansätze in der strategischen Netzplanung. Die vorliegende Dissertation konzentriert sich auf die langfristige Planung des eng vermaschten, europäischen Übertragungsnetzes. Die Arbeit berücksichtigt dabei aktuelle Rahmenbedingungen, indem sie Richtlinien, gesetzmässige, energiepolitische Implementierungen sowie deren Auswirkungen auf die marginale Erzeugungskostenstruktur in ein ganzheitliches Modell integriert.

Die entwickelte Methodik basiert auf einem semi-dynamischen, heuristischen Ansatz, der die soziale Wohlfahrt für multiple, diskrete Schritte maximiert. Die Methodik berücksichtigt verschiedene, europisch-energiepolitische Präferenzen bzgl. des Elektrizitätserzeugungsportfolios sowie die, in diesem Zusammenhang, antizipierten und geplanten Übertragungsnetzverstärkungen. Die entwickelte Methodik besteht aus zwei Teilen. Sie umfasst einerseits eine Multi-Kriterien-Analyse dessen Ergebnisse Entscheidungsträgern helfen können, kurzfristige Entschlüsse basierend auf einer optimalen Informationsgrundlage zu treffen. Andererseits beinhaltet der zweite Teil der Methodik eine Kosten-Nutzen-Analyse, welche die wirtschaftliche Rentabilität von Netzausbauplänen bewertet und Entscheidungsträger mit einer Informationsbasis für Langfristentscheidungen ausstattet. In diesem Zusammenhang ermöglicht der integrierte Multi-Kriterien-Ansatz auch die Identifizierung einer optimalen Übertragungsnetzarchitektur. Diese Netzplanung umfasst die Identifizierung von kritischen Stellen im Übertragungsnetz sowie die Bewertung

der identifizierten Netzverstärkungen bezüglich Wirtschaftlichkeits sowie Nachhaltigkeitsaspekten. Die wichtigsten Indikatoren für die Wirtschaftlichkeit einer Netzverstärkung sind der Umweltnutzen, die Reduzierung von Engpasskosten sowie das generelle Kosten-Nutzen Verhältnis. Zentrale Annahmen für die Bewertung beinhalten Variationen von marginalen Produktionskosten, antizipierte und geplante Erzeugungsportfolio Entwicklungen und zukünftige Lastprofile.

Das entwickelte Netzausbauplanungs und bewertungsmodell nutzt zwei physikalische Netzmodelle, welche auf der Grundlage öffentlich zugänglicher Daten und eines vorgeschlagenen Reduzierungsprozesses für grosse, elektrische Netze entwickelt worden. Die Ergebnisse der integrierten Methodik basieren also auf einer physikalisch realistischen Grundlage und werden in Kurvenform visualisiert, um Entscheidungsträgern eine möglichst simple und schnelle die Informationsauswertung zu ermöglichen.