



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان: تحلیل نیروگاه های تلمبه ای\_ ذخیره ای و نقش آن در پایداری سیستم های قدرت

استاد راهنما: دکتر جلیل زاده

نگارش: حامد پور خیرالله

تابستان ۹۴

## فهرست مطالب:

مقدمه:	۶
فصل اول : معرفی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۹
تاریخچه نیروگاه تلمبه ای ذخیره ای.....	۱۰
نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۱۳
طبقه بندی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۱۴
دیدگاه اقتصادی.....	۱۵
مزایای نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۱۶
الف - تاثیر بر عملکرد سیستم برق.....	۱۷
و انشاه زنجان و اسکند ب - فواید آن در تنظیم سازی انرژی.....	۱۸
زنجان و اسکند مندر ج - مزایای فنی.....	۱۹
د - خدمات جنبی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۲۰
ح - فواید زیست محیطی نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۲۳
خ - فواید اقتصادی.....	۲۶
انواع جانمایی.....	۲۷
گزینه یابی اولیه نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۳۳
عملکرد نیروگاه تلمبه ذخیره ای.....	۳۴
اثرات عملکرد نیروگاه سیاه بیشه.....	۳۸
مشخصه بار سیستم.....	۳۸
بررسی اثرات زیست محیطی نیروگاه سیاه بیشه.....	۴۳
فصل دوم : تجهیزات نیروگاه‌های تلمبه ذخیره ای.....	۴۶
ماشین سنکرون.....	۴۷

.....	ژنراتور سنکرون	۴۸
.....	موتور سنکرون	۴۹
.....	راه اندازی به کمک منبع تغذیه با فرکانس متغیر	۵۰
.....	راه اندازی بصورت موتور القایی سه فاز	۵۱
.....	کنترل سرعت موتورهای سنکرون	۵۲
.....	کنترل فرکانس	۵۳
.....	موتور سنکرون خود کنترل	۵۴
.....	سیستم کنترل با حلقه بسته	۵۵
.....	کاربرد های ماشین های سنکرون سه فاز	۵۵
.....	توربین	۵۷
.....	انواع توربین ها	۵۸
.....	انتخاب توربین	۶۰
.....	مقدمه در مورد نیمه هادیها	۶۱
.....	تاریخچه مبدلهای فرکانسی	۶۸
.....	مبدل فرکانس ساکن ( sfc )	۶۹
.....	مدار اصلی	۷۱
.....	کنترل و ویژگی ها	۷۴
.....	میانجی آدمی ( man machine interface )	۷۴
.....	مهمترین نیازهای روشن کننده ساکن	۷۵
.....	تشخیص خطا و محافظات	۷۶
.....	جلوگیری از نیروی معکوس بوسیله استفاده از Sfc	۷۶
.....	استراتژی کنترل مبدل فرکانس ساکن	۸۱

کنترل اینورتور.....	۸۵
کنترل رکتیفایر.....	۸۹
مرحله کموتاسیون اجباری.....	۹۱
<b>فصل سوم: شبیه سازی سیستم نمونه و پایداری سیستم های قدرت</b>	
مقدمه.....	۹۷
مفهوم پایداری.....	۹۸
معادلات دینامیک سیستم قدرت.....	۱۰۱
تخمین نقطه کار سیستم.....	۱۱۱
اجرای برنامه PSS.....	۱۱۵
تحلیل مقادیر ویژه.....	۱۱۹
پاسخ خطی.....	۱۲۰
پاسخ غیر خطی.....	۱۲۱
اجرای برنامه LOC.....	۱۲۲
تحلیل مقادیر ویژه.....	۱۲۶
پاسخ خطی.....	۱۲۷
پاسخ غیر خطی.....	۱۲۷
معرفی نرم افزار simulink matlab.....	۱۲۹
شبیه سازی سیستم نمونه.....	۱۳۰
مشخصات فنی پروژه.....	۱۴۷
فهرست منابع و مآخذ.....	۱۵۱

## مقدمه:

هدف از تعریف و اجرای این پروژه بررسی نیروگاههای تلمبه ذخیره ای در پایداری شبکه و اثرات به مدار آمدن نیروگاه تلمبه ذخیره ای سیاه بیشه و تجهیزات مورد استفاده در این نوع نیروگاهها توسط نرم افزار تحت مطلب صورت گرفته است.

ابتدا در فصل اول ، نیروگاههای تلمبه ذخیره ای معرفی گردیده اند و سپس به طبقه بندی این نیروگاهها پرداخته شده است. و در ادامه مزایای این گونه نیروگاهها مورد بررسی قرار گرفته است، و در ادامه به اثرات عملکرد نیروگاه سیاه بیشه و تاثیر آن بر محیط زیست پرداخته شده است.

در فصل دوم ، تجهیزات نیروگاههای تلمبه ذخیره ای مورد بررسی قرار گرفته است . ابتدا به بررسی ماشین سنکرون ( ژنراتور- موتور ) پرداخته شده است، و سپس روشهای متداول برای راه اندازی و کنترل

این نوع ماشینها مورد بررسی قرار می گیرد. در ادامه به بررسی توربین پرداخته شده است. از آنجا که ایده اساسی پروژه ، مدلسازی و شبیه سازی مبدل فرکانس ساکن بوده ، به همین خاطر به این قسمت بیشتر از مباحث قبلی پرداخته شده است. در ادامه مبحث مقدمه ای در مورد نیمه هادیها و تاریخچه

مبدل های فرکانسی ارائه گردیده است، و سپس مبدل فرکانس ساکن مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است و مهمترین نیازهای این مبدل مطرح گشته و در آخر فصل به فن کنترل این نوع مبدل پرداخته شده است.

در فصل سوم، مقدمه ای در مورد پایداری و معادلات دینامیک سیستم های قدرت آمده است. که بوسیله برنامه **pss** ، **Load flow** انجام گرفته و توضیح داده شده و نتایج خروجی را نشان داده ایم . همچنین توضیحاتی راجع به نرم افزار قدرتمند **Simulink matlab** ارائه شده است و مدلی از

نیروگاه تلمبه ذخیره ای و مبدل فرکانس استاتیک رسم و نتایج شبیه سازی بصورت خروجی ارائه گردیده است.

ضمیمه ۱ بعنوان مشخصات فنی پروژه در پایان فصل سوم ارائه گردیده است.



## تاریخچه نیروگاه تلمبه ذخیره ای :

بشر از زمانهای بسیار دور به انرژی آب پی برده بود. آسیابهای آبی که هزاران سال قبل معمول بود گویای

این امر میباشد. اما اولین نیروگاه برق آبی با قابلیت تلمبه ذخیره ای در سال ۱۸۸۲ در زوریخ سوئیس

شروع به فعالیت نمود، پس از آن که در سال ۱۹۰۹ نیروگاه تلمبه ذخیره ای دیگری در اسکاف هوسن

کشور مذکور راه اندازی شد که هنوز هم مورد استفاده قرار میگیرد. در انگلستان اولین نیروگاه تلمبه

ذخیره ای در سال ۱۹۲۰ در والکربورن نصب و راه اندازی شد. بنا به گفته فریمن تا سال ۱۹۲۵ حدود

۳۵ نیروگاه تلمبه ذخیره ای کوچک در کشورهای مختلف اروپا مشغول به فعالیت بوده اند. در همان

زمان فرضیه ساخت توربین - تلمبه معکوس ارائه و در سال ۱۹۳۱ اولین توربین تلمبه معکوس در شهر

بالدنیسی آلمان نصب گردید. جنگ جهانی دوم باعث یک انفجار اقتصادی در سرتاسر جهان شد. این

موضوع باعث افزایش تقاضا برای انرژی گردیده و در طی آن شبکه های انتقال انرژی توسعه یافتند.

توسعه شبکه های مذکور نیاز به نیروگاههای پیک را آشکارتر کرد. بنابراین نیروگاه تلمبه ذخیره ای

بعنوان یکی از اجزاء لازم در سیستم تولید انرژی شناخته شد. در سال ۱۹۵۵ اولین واحد تلمبه توربین از

نوع فرانسویس توسط سازمان تنسی والی در ایالت متحده نصب گردید. در سال ۱۹۶۲ اجرای پروژه های

تلمبه ذخیره ای ۳۶۰ مگا واتی فستینیوگ در انگلستان و پروویندنزا با ارتفاع ۲۸۴ متر در ایتالیا نقطه

عطفی در پیشرفت نیروگاههای مذکور ایجاد نمودند. پس از آن در سال ۱۹۶۳ ایالت متحده دو واحد

۲۳۰ مگا واتی با هد ۲۵۰ متر بر روی سد تام ساک راه اندازی کرد تا اواسط دهه هفتاد نیروگاه آهیرا

واقع در ژاپن با هد ۵۱۳ متر و نیروگاه لادینگتون در ایالت متحده به ترتیب دارای بالاترین هد و بیشترین

ظرفیت تولید بودند اما امروزه طرح پلاس رادولو ایتالیا با هد ۱۲۶۰ متر و نیروگاه لویستون در ایالت

متحده با ظرفیت تولید ۲۸۸۰ مگا وات به ترتیب دارای بیشترین هد و ظرفیت تولید میباشد. روند

توسعه نیروگاههای تلمبه ذخیره ای ادامه یافت تا اینکه در پایان سال ۱۹۹۰ بیش از ۳۰۰ نیروگاه از نوع

مذکور در دست ساخت یا بهره برداری بوده است و این نشانه نقش موثر نیروگاه تلمبه ذخیره ای در

خدمات تولید برق می باشد. بزرگترین طرحهای تلمبه ذخیره ای مربوط به کشورهای صنعتی می باشد،

کشورهای ژاپن ، آمریکا و روسیه پیشرفت های قابل ملاحظه ای در این زمینه داشته اند. ژاپن بیش از

۴۰ طرح با ظرفیت تولید ۱۶ گیگا وات دارد که در آینده نزدیک با طرحهای در دست اجرا این ظرفیت

تولید به ۵۰ گیگا وات خواهد رسید. پتانسیل یابی انجام شده در ژاپن بیانگر ۴۴۰ نقطه مناسب جهت

اجرای طرحهای تلمبه ذخیره ای با توانائی ذخیره ۳۲۴ گیگا وات می باشد. آمریکا از جمله کشورهای

است که سرمایه گذاری زیادی در زمینه نیروگاه تلمبه ذخیره ای کرده است. این کشور در پایان سال

۱۹۷۱ دارای ۱۵ طرح تلمبه ذخیره ای با ظرفیت تولید ۳۷۶۵ گیگا وات بوده است. هم اکنون ظرفیت

تولید در آمریکا بیش از ۱۷ گیگا وات و در روسیه بیش از ۱۱ گیگا وات می باشد. در ایران نیز از قبل از

انقلاب ، مطالعات شناسائی و مرحله اول چند نیروگاه تلمبه ذخیره ای در شمال کشور انجام گردید که

نیروگاه سیاه بیشه و هریجان مهمترین آنها می باشند. نیروگاه سیاه بیشه هم اکنون با ظرفیت ۱۰۰۰ مگا

وات در حال اجرا می باشد و چند نیروگاه تلمبه ذخیره ای دیگر نیز بویژه در مناطق جنوب غربی کشور

مورد شناسائی اولیه قرار گرفته است. با توجه به سهم قابل توجه نیروگاههای حرارتی در تولید انرژی

الکتریکی و نیز برنامه های آتی ایران در زمینه نیروگاه های هسته ای و روند تغییرات منحنی بار در شبانه

روز ، لزوم توجه ویژه به نیروگاههای تلمبه ذخیره ای بیشتر میگردد[1].

### نیروگاههای تلمبه ذخیره ای :

نیروگاههای تلمبه ذخیره ای از انواع نیروگاههای برقی هستند که با عملکرد موتوری (پمپاژ آب به سد

بالا دست ) طی ساعات کم باری شبکه برق از یکسو و تولید برق در شرائط پیک بار سیستم از سوی دیگر

می توانند نقش موثری در بهبود عملکرد سیستم تولید داشته باشند. نیروگاههای تلمبه ذخیره ای در

شب یا زمانهای کاهش تقاضا برای برق با تلمبه کردن آب از دریاچه مخزن در پائین دست به دریاچه یا

مخزنی که در بالا دست و در ارتفاعی بالاتر قرار دارد انرژی را ذخیره می سازند و در زمانهایی که مازاد

مصرف وجود دارد این انرژی پتانسیل با عبور آب از واحدهای توربین ژنراتور به انرژی الکتریکی تبدیل

می شود. بنابراین ایده اساسی در نیروگاه تلمبه ذخیره ای ، ذخیره انرژی الکتریکی اضافی تولید شده در



سیستم به شکل انرژی پتانسیل هیدرولیکی در زمانهای غیر پیک می باشد که از این انرژی در زمانهای پیک سیستم که تقاضا بیش از کل ظرفیت تولید است استفاده خواهد شد. باید توجه داشت که زمان پیک یک سیستم می تواند روزانه ، هفتگی ، ماهانه و فصلی باشد. بکار گیری این نیروگاههای همانگونه که اشاره شد ، از دیر باز در سیستم های تولید برق دنیا آغاز گردیده که راندمان آنها در حال حاضر ۸۰٪ می باشد و دارای مزایای زیادی می باشند، بسیاری از مزایای این نیروگاهها ناشی از نوع عملکرد آنها در ساعات مختلف شبانه روز است و گذشته از موضوع متعادل نمودن تولید و مصرف برق دارای مزایای دیگری می باشند از جمله مزایای آن برای عملکرد سیستم (یا شبکه) برق ، تنظیم انرژی ، فراهم سازی خدمات جنبی ، زیست محیطی و اقتصادی و..... می باشد.

#### طبقه بندی نیروگاههای تلمبه ذخیره ای :

این نیروگاهها به دو روش طبقه بندی می شوند :

الف- طبقه بندی بر اساس دوره یا چرخه عمل (Operating cycle) :

#### ب- طبقه بندی بر اساس جریان آب (In flow) :

این نیروگاهها در نوع الف به سه دسته یا چرخه کارکرد روزانه ، هفتگی یا سالانه تقسیم میشوند که بر اساس منحنی تقاضا به تلمبه کردن آب یا تولید انرژی می پردازد.

در طبقه بندی نوع "ب" نیروگاه به دو نوع خالص و مرکب تقسیم می شود که در نوع خالص آب به طور مکرر بین دو مخزن بالادست و پائین دست جریان می یابد. در نوع مرکب حجم کلی آب که از توربین ها و پمپ ها عبور می کند بیشتر از میزان آبی است که از پمپ ها عبور می کند . تولید انرژی اضافی در این نوع نیروگاهها بر فوائد اقتصادی آن می افزاید.

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

## فهرست منابع و مآخذ:

[1] Gans Transelektro Traction Electrics Ltd “Static Frequency converter For Starter Application”. 1108 Budapest Venyige u.3. Hungary

[2] L . Bojtor - E.Paal “Static Starter For Gas Turboset and Pumped Storage Hydro Power Plant”. Gans Ansaldo ,Budapest – Hungary

[3] Prof. Jean-Jacques Simond , Dr. Alain Spain- Daniel Schafer “Expected benefits of adjustable speed pumped storage in the European network”. Swiss Federal Institute of Technology EPFL-DE-LEME. ABB Power Generation Ltd. 1015 Lausanne – 5242 Birr

[4] Greg Magsaysay, Thomas Schuette, Russ J. Fostiak “Use of a Static Frequency Converter for Rapid Load Response in Pumped – Storage Plants”. IEEE Transactions on Energy Conversion , Vol. 10, NO. 4, December 1995

[5] Sebastian P. Rosado, “ Analysis of Electric Disturbances from the Static Frequency Converter of a pumped Storage Station ”. Blacksburg, Virginia - August 9,2001

[6] Power System Stability & Control , Yau-non Yu , Academic Press 1983

[7] R. Gupta, B. Bandyopadhyay and A.M. Kulkarni , “ Design of power system stabiliser for single-machine system using robust periodic output Feedback controller ”, *IEE Trans. Distrib. Vol. 150, No. 2, March 2003*

[8] Improvement of Synchronizing and Damping Torque Coefficients Based LQR Power System Stabilizer , Ali M. Yousef , M. K. El-Sherbiny , IEEE 2004

[9] J.H. Chow , J.J. Sanchez-Gasca , “ POLE-PLACEMENT DESIGNS OF POWER SYSTEM STABILIZERS ”

, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 4, No. 1, February 1989

[9]A. Elices, L. Rouco,H. Bourlès and T. Margotin , “ Physical Interpretation of State Feedback Controllers

to Damp Power System Oscillations ” , IEEE TRANSACTIONS ON POWER SYSTEMS VOL. 19, NO. 1, FEBRUARY 2004

[10] M. Z. Yousef , P. K. Jain , E. A. Mohammad , ” A Robous Power system stabilizer configuration using Artificial Neural Network Based on Linear Optimal Control “ , Montreal IEEE 2003

[11] Ouassima AKHRIF, Francis-Aim6 OKOU, Louis-A. DESSAINT, Roger , “Application of a Multivariable Feedback Linearization Scheme for Rotor Voltage Regulation of Power Systems ” , IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 14, No. 2, May 1999

[12] سوئر و پای ( ترجمه دکتر رضا قاضی) ، دینامیک و پایداری سیستم قدرت

[13] دکتر مهدی کراری ، دینامیک و کنترل سیستم قدرت

[14] پرابها شانکار کندور ( ترجمه دکتر حسن سیفی – دکتر علی خاکی صدیق ) ، پایداری و کنترل

سیستم قدرت

[15] پ. س. سن، ماشین های الکتریکی ، ترجمه دکتر مهرداد عابدی ، مهندس محمد تقی نبوی ، نشر

بصیر ، ۱۳۸۰

[16] مهندس علی فکوریکتا، خودآموز نرم افزار مطلب، جهاد دانشگاهی مشهد

