**پايان نامه**

**جهت اخذ درجه كارشناسي مهندسي برق**

**(قدرت)**

**موضوع:**

**مقايسه فني و اقتصادی سيستم های تحريک در نيروگاه ها**

**استاد راهنما:**

**تهيه و تنظيم:**

با سپاس فراوان از ایزدمنان که این توفیق را به ما عطا نمود تا با گذراندن دوره چهارساله کارشناسی گام دیگری در جهت کسب علم و دانش بیشتر برداریم و با تشکر بی پایان از استاد گرامی و بزرگوار جناب آقای دکتر حسینی و سروران والا مقام مهندسین محترم نیروگاه رامین اهواز آقایان نجف آبادی و قیصری و شکوهی و به ویژه مهندس پرشی که شبانه روز در تدوین و تکمیل این پروژه ما را یاری نمودند و برادر ارجمندمان جناب آقای مهندس چرم زاده که در آماده سازی و رفع موانع موجود در پروژه نهایت همکاری و مساعدت را با ما مبذول داشتند صمیمانه تشکر و قدردانی نموده و توفیق روزافزون همگان را در راه خدمت به نظام مقدس جمهوری اسلامی و آرمانهای آن از خداوند متعال آرزومندیم .

**فهرست**

مقدمه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 7

**فصل اول**

نظریه های سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 11

سیستم تحریک چیست ؟ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 11

اجزای تشکیل دهنده سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 12

وظایف سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 14

جایگاه سیستم تحریک در تولید انرژی الکتریکی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 15

سیستم تحریک در نیروگاه . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 16

رفتار الکتریکی و مکانیکی ژنراتور سنکرون . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 17

ساختمان ژنراتور سنکرون و انواع آن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 20

کمیات اصلی یک ژنراتور سنکرون . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... 22

حالتهای عملکرد ژنراتور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 24

گشتاور سنکرونیزاسیون. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 26

مشخصات گشتاور ژنراتور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 27

دیاگرام توان ماشین سنکرون ( Power Chart ) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .27

نیازهای شبکه استاتیکی AVR . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 28

تولید و مصرف توان راکتیو . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 29

مقایسه گاورنر ( governor ) و AVR . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 29

رفتار استاتیکی AVR . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 30

**فصل دوم**

سیستم تحریک ژنراتور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 33

انواع سیستمهای تحریک ( طبقه بندی قدیمی )

 سیستم تحریک استاتیک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 36

 سیستم تحریک دینامیک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 36

انواع سیستمهای تحریک ( طبقه بندی جدید ) :

 سیستم تحریک استاتیک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 38

 سیستم تحریک مشتمل بر تحریک کننده اصلی سه فاز و دیودهای ثابت . . . . . . . . . . . 40

 سیستم تحریک بدون جاروبک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 42

انتخاب سیستم تحریک ژنراتور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 45

ساختمان کلی تنظیم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 46

انواع اكسايتر EXCITER TYPES . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... 48

 اكسايتر با رئوستاي تحت كنترل ( سيستم اوليه ) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 48

 سيستم كنترل ميدان تحريك به وسيله اكسايتر با ژنراتور DC كموتاتوردار . . . . . . . . . . . 51

 سيستمهاي كنترل ميدان تحريك با استفاده از اكسايتر با يكسوكننده و آلترناتور . . . . . . . . . 52

 سيستم كنترل ميدان تحريك با سيستم اكسايتر با يكسوكننده مركب . . . . . . . . . . . . . . . . .55

 سيستم كنترل ميدان تحريك با اكسايتر از نوع يكسوكننده مركب و اكسايتر با يكسوكننده و منبع تغذيه از نوع ولتاژي . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 56

 سيستم كنترل ميدان تحريك با اكسايتر متشكل از يكسوكننده با منبع تغذيه از نوع ولتاژي . 57

**فصل سوم**

معرفی سیستم تحریک نیروگاه آبی سد شهید عباسپور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 61

مشخصات سیستم تحریک واحدهای نیروگاه آبی سد شهید عباسپور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 62

اجزای سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 63

مدل سازی سیستم تحریک سد شهید عباسپور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 68

ارائه مدل تحلیلی سیستم تحریک نیروگاه آبی سد شهید عباسپور . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 71

ارزیابی مدل . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 71

نحوه عملکرد سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 72

**فصل چهارم**

قسمت لول

معرفی سیستم تحریک واحدهای 2- 4 نیروگاه رامین . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 75

پانل ЭПА-500 و المانهای درون آن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 75

وظایف اصلی تقویت کننده های مغناطیسی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 78

ماشين تحريك اولیه (Pilot exciter ) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 82

ماشين تحریك اصلي (main exciter) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 83

توضیح در مورد فورسنیگ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... 88

پارامترهای فورسنیگ و مگا وار واحد. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 89

عمل دی فورسنیگ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... 90

توضیح در مورد واحد Б0MB حفاظت زیر تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 92

نکاتی بیشتر درباره محدودکننده زیر تحریک Б0MB . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 92

معرفی فیدبکهای ثابت (پایدار) و گذرا . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... . . . ... 92

پل های دیودی جهت یکسو کردن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . . .93

اتوترانس یا ترانسفورماتور کنترل مگاوار . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .93

نحوه عملکرد سیستم تحریک واحدهای 2- 4 نیروگاه رامین . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 93

توضیحات برروی نقشه تک خطی و شماتیک پانل ЭπA-500 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 95

قسمت دوم :

سیستم تحریک واحدهای 6و5 نیروگاه رامین . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . 100

حفاظتهای مربوط به سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 104

تشریح کارتهای موجود در تنظیم کننده ولتاژ (AVR) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 104

**فصل پنجم**

نحوه عملکرد سیستم تحریک Unitrol 5000 واحد 1 نیروگاه رامین . . . . . . . . . . . . . . . . . .110

 فرمان ها و فیدبک ها . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 110

 فرمان وصل و قطع circuit breaker میدان . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 111

مدار (CROWBAR)DE-EXCITION . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 112

فرمان وصل تحریک (EXCITION ON) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... . . 112

مرحله آغاز کار ژنراتور با راه اندازی نرم (Soft Start) . . . . . . . . . . . . . . . ..... . . . . . . . . . . .. 113

Fire All Flash چه چیزی است . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 114

فرمان قطع تحریک (Excitation Off) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 114

مدهای کنترل : محلی / دور و اتوماتیک / دستی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ..... . . . . . 115

فرمان های وصل دستی / اتوماتیک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . . . . . ... 115

کنترل کننده Follow Up . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ..... . 116

کنترل دستی جریان و کنترل اتوماتیک ولتاژ . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... .. 116

فرمان کانال 1/کانال2 . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 117

تغییر وضعیت به کانال اضطراری . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 119

نواحی ایمن . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .... 119

فرمان کاهش و افزایش setpoint . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 120

فرمان های تنظیم کننده super imposed . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. 122

فرمان های قطع و وصل پایدارکننده سیستم تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ..123

تجهیزات مربوط به کنترل محلی. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ...124

معرفی تابلوهای ARCNET . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . ... 124

معرفی بخش های مختلف تابلو ARCNET . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 124

کنترل های اضافی . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 129

تریستور / مبدل . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 130

بررسی های لازم قبل از عملکرد مختلف بروی سیستم تحریک . . . . . . . . . . .. . . . . . . . . . . . . . 131

 چک کردن برخی موارد قبل از راه اندازی سیستم . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 131

 چک کردن سیستم در زمان بی باری (No Local) . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 131

 چک کردن منظم سیستم در خلال عملکرد . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .. . . 131

 بررسی های لازم و تعمیرات در هنگام خاموش بودن (Shut Down) . . . . . . . . . . . . . . . . . 132

 چک کردن TRIP اضطراری در سیستم تحریک در زمان هشدار و یا خطا . . . . . . . . . . . . . . .132

**فصل ششم**

جمع بندي \_\_ بررسی فنی و اقتصادی سیستم های تحریک . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . 134

● منابع و ماخذ. . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . . .148

● ضمیمه ( آشنایی با برخی اصطلاحات ٬ تعاریف و مفاهیم روسی در نقشه ها) . . . . . . . . ... .149

 مقدمه

همانطور که می دانیم ژنراتور یکی از اجزای اصلی موجود در هر نیروگاهی است و از آنجا که سیستم تحریک مهم ترین جزء هر ژنراتور را شامل میشود لذا سیستم تحریک نقش بسیار مهمی، در تولید برق دارد.

یکی از کاربردهای مهم سیستم تحریک، اين است كه می تواند ژنراتور را طوری هدایت کند كه ژنراتور در ناحیه امن (محدوده پایداری) باقی بماند.

لذا با توجه به اهمیت و جایگاه بسیار مهم سیستم تحریک در نیروگاهها ، طبيعي است که حساسیت روی سیستم تحریک بالا مي رود و اگر مشکلی در سیستم تحریک ایجاد شود، این مشکل به طور مستقیم بر روی ژنراتور اثر می گذارد. به عنوان مثال در صورت عملكرد نا مناسب محدود کننده زیر تحریک و يا فوق تحريك ژنراتور آسیب مي ببیند و در صورت ایجاد مشکل در ژنراتور ناپایداری در شبکه نیز به وجود خواهد آمد. جالب است بدانيد، تمام نوساناتی که در شکبه ایجاد می شود از لحاظ ولتاژی و تا حدی از لحاظ فرکانسی، سیستم تحریک تا حدودی می تواند به آنها پاسخ دهد . تمام این موارد نشان دهنده اهمیت سیستم تحریک می باشد و همین اهمیت هم باعث می شود که وقتی ما می خواهیم سیسیتم تحریکی را عیب یابی کنیم باید اولاً تمام این اهمیت ها را در نظر بگیریم ثانیاً رفع عیب را در زمان کوتاهی انجام دهیم چرا که اگر عیب در مدت زمان کوتاه برطرف نشود به معنای آن است که در تولید برق توسط نیروگاه وقفه ایجاد شده است و این وقفه در تولید برای نیروگاه ضرر اقتصادی را به همراه دارد . حال در ادامه به بررسی مشکلاتی که ممکن است در سيستم تحریک نیروگاه ایجاد شود می پردازیم و در ادامه با اهمیت سیستم تحریک در نیروگاهها بیشتر آشنا خواهیم شد.

مشكلات موجود در سيستم تحريك به چند دسته كلي قابل تقسيم خواهند بود 1- مشكلات مربوط به سرويس و نگهداري سيستم تحريك 2- مشكلات موجود در حين بر طرف كردن عیب (که این دسته از مشکلات مربوط به حالتی است که عیبی رخ داده و حالا می خواهیم این عیب را برطرف کنیم) آنچه مسلم است این است که هرچه زمان رفع defect (عیب) کوتاهتر باشد طبیعتاً با مشکل وفقه در تولید کمتر مواجه خواهیم شد و در نتيجه تولید ما پایدارتر خواهد شد. بنابراین نتیجه می گیریم که سیستم تحریک، به نحوی در پایداری تولید هم دخالت مستقیم دارد. بنابراین با توجه به دو مشکل کلی ذکر شده در بالا هر چه مشکلات سرویس و نگهداری کمتر باشد هزینه های مربوط به سیستم تحریک کمتر می شود. و با توجه به مشکل دوم ، بحث زمان بسیار مهم است. یعنی اگر برای سیستم تحریک مشکلی ایجاد می شود چه زمانی طول می کشد تا ما مشکل را برطرف کنیم چرا که همانطور که اشاره شد رفع عیب باید در کوتاهترین زمان ممکن انجام شود تا ضرر اقتصادی کمتری را متحمل شویم.

در ادامه به توضيح بيشتر اين مطلب مي پردازيم. همانطور که می دانیم هر نیروگاهی یک سهم تولید دارد که آن سهم تولید را به عنوان سقف تولید نیروگاه در نظر می گیرند و نیروگاه در قبال مقدار مگاواتی که تولید می کند از برق منطقه ای پول دریافت می کند حال با توجه به Trip های ناگهانی و مشکلاتی که ممکن است برای سیستم ایجاد شود، (این مشکلات عمدتاً ناشی از عملکرد نامناسب سیستم تحریک میباشند) نیروگاه موظف است مقدار مگاواتی را که تعهد کرده، باید به برق منطقه ای تحویل دهد چراکه در صورت عدم رعایت تعهدات، نیروگاه باید به برق منطقه ای جریمه بپردازد به عنوان مثال اگر Trip ناگهانی در روز غیر تعطیل ایجاد شود نیروگاه جریمه خواهد شد پس با وجود تمام این محدودیتها (محدودیتهای شامل Trip ناگهانی و مشکلات موجود در سیستم تحریک و . . .) و به طور کلی پیچیدگی هایی که در بازار برق وجود دارد سبب می شود که سیستمی که برایمان برق تولید می کند(ائم از ژنراتوروسيستم تحریک و . . .) را مرتب بهینه کنیم تا بدين وسيله مشکلاتی که در سیستم های ما پیش می آِید به حداقل ممکن کاهش یابد. با توجه به توضیحات فوق در می یابیم که مشخصات یک سیستم تحریک خوب عبارت است از 1- کم هزینه باشد که این هزینه شامل هزینه سرویس نگهداری مي- شود و Trip هایی که در اثر ایجاد مشکل در سیستم تحریک برای واحد نیروگاه اتفاق می افتند و ضرر اقتصادی که توسط این Trip، نیروگاه باید بپردازد را هم شامل می شود.

2- از نظر عیب یابی آسان و راحت باشد و عیب در مدت زمان کوتاهی برطرف شود.

3- سیستم تحریک با کیفیت بالا باشد (شامل سرعت پاسخگويي به نوسانات توان راکتیو و پایداری در سیستم تولید انرژی می شود).

ما در این پروژه ابتدا سیستمهای تحریک پردردسر (نظیر نیروگاه آبی سد شهید عباسپور) را بررسی می کنیم و بعد با سیستمهای تحریک روسی نیروگاه رامین (که نه خیلی دینامیکی هستند و نه خیلی استاتیکی) آشنا می شویم و در انتها با جدیدترین سیستم تحریک حال حاضر جهان آشنا خواهیم شد و در فصل 6 (جمع بندی) این 4 نوع سیستم تحریک را به طور کامل با هم مقایسه کرده و مزایا و معایب آنها را تشریح خواهیم کرد .



**نظریه های سیستم تحریک**

ما در این فصل دو قسمت کلی را مورد بررسی قرار می دهیم :

1. سیستم تحریک چیست؟ 2. با حالتهای عملکرد ماشین سنکرون و مشخصات آن آشنا خواهیم شد . در این فصل سعی شده است که با ژنراتور سنکرون و مشخصات آن که به سیستم تحریک مربوط میشود نیز تا حدودی اشاره شود.

**1-1 سیستم تحریک چیست ؟**

به القای ولتاژ در روتور ماشین سنکرون (که خاصیت الکترو مغناطیس پیدا کرده) تحریک ماشین گفته میشود و بنابراین سیستمی که جریان را تغذیه می کند سیستم تحریک نامیده می شود.



مقدار جریان تغذیه شده به طور مستقیم به نیروی الکترومغناطیسی و در نتیجه به سطح ولتاژ القا شده برروی استاتور بستگی دارد. برای ژنراتور سنکرون سیم پیچی میدان (که مغناطیس شده) همیشه برروی روتور قرار دارد و این بدان علت است که مقدار جریان در سیم پیچی میدان بسیار کمتر از سیم پیچ استاتور می باشد ودر نتیجه ترتیب حرکت شفت آسانتر است و از همه مهمتر تعداد زغالها یکی کمتر و اسلیپ رینگ و زغالها حامل جریان کمتری می باشد. اگر سیم پیچی میدان روی استاتور قرار بگیرد حجم سیم پیچی بیشتر میشود و در نتیجه ترتیب حرکت شفت سخت تر خواهد شد. البته مطالبی که در بالا اشاره شد٬ اشاره به بحث آرمیچر ساکن در ماشین سنکرون دارد. امروزه با پیشرفت تکنولوژی از نیمه هادی های قدرت نظیر دیود و تریستور برای کنترل بهتر مشخصات ماشین تحریک می توان استفاده کرد. در هر سیستم تحریک، بسته به نوع و شکل آن، تجهیزات ممکن است خیلی زیاد باشند ولی با این حال در هر سیستم تحریک یک سری اجزای ثابت و اصلی وجود دارد که در ادامه به شرح برخی از اجزای اصلی سیستم تحریک اشاره خواهیم کرد .

**1-2 اجزای تشکیل دهنده سیستم تحریک :**

**تولید جریان روتور :**

روتور ماشین باید به وسیله جریانی تغذیه شود به عنوان مثال: روتور ماشین بوسیله یک مبدل الکترونیکی پر قدرت تغذیه شود (این روش مستقیم است) و یا یک جریان کوچک٬ ماشین تحریک را تغذیه می کند که به طور منظم جریان روتور زیاد میشود. (روش غیر مستقیم).

**منبع تغذیه :**

سیستم تحریک به منظور تولید جریان به منبع تغذیه نیاز دارد منبع تغذیه به دو صورت تغذیه موازی و تغذیه سری کاربرد دارد. تغذیه موازی تغذیه ای است که از ترمینالهای ماشین گرفته میشود و تغذیه سری تغذیه ای است که از تغذیه کمکی گرفته میشود.