

****

**دانشگاه آزاد اسلامي**

**واحد تهران جنوب**

**دانشكده تحصيلات تكميلي**

**پايان نامه براي دريافت درجه كارشناسي ارشد** "M.Sc"

**مهندسي برق – كنترل**

**عنوان:**

**طراحي كنترل‌كننده بهينه فيدبك حالت و خروجي توان راكتيو در نيروگاه‌هاي بادي مجهز به DFIG**

**استاد راهنما:**

**استاد مشاور:**

**دانشجو:**

**فهرست مطالب**

|  |  |
| --- | --- |
| **عنوان مطالب** | **شماره صفحه** |

|  |  |
| --- | --- |
| چكيده | 1 |
| **فصل اول : پيشگفتار** | 2 |
| 1-1 مقدمه | 3 |
| 1-2 انرژي باد | 4 |
| 1-3 مزاياي بهره برداري از انرژي باد | 4 |
| 1-4 اهميت كنترل توان راكتيو در نيروگاه بادي | 5 |
| 1-5 پيكربندي پايان نامه | 6 |
| **فصل دوم : مشخصه‌هاي سيستم‌هاي** **بادي** | 7 |
| 2-1 مقدمه | 8 |
| 2-2- **فن‌آوري توربين‌هاي بادي** | 9 |
| 2-2-1- اجزاي اصلي توربين بادي | 11 |
| 2-2-2- چگونگي توليد توان در سيستم‌هاي بادي | 12 |
| 2-2-3- منحني پيش بيني توان توربين بادي | 13 |
| 2-2-4- پارامترهاي مهم در توربين بادي | 13 |
| 2-3- **انواع توربين‌ها از لحاظ سيستم عملكرد** | 14 |
| 2-3-1- عملكرد توربين‌هاي سرعت ثابت | 14 |
| 2-3-1-1- توربين‌هاي ممانعت قابل تنظيم سرعت ثابت | 15 |
| 2-3-1-2- توربين‌هاي ممانعت تنظيم شده دو سرعتي | 15 |
| 2-3-1-3- توربين‌هاي زاوية گام قابل تنظيم فعال سرعت ثابت | 16 |
| 2-3-1-4- توربين‌هاي زاوية گام قابل تنظيم غير فعال | 16 |
| 2-3-2- الگوي عملكرد سرعت متغير | 16 |
| 2-3-2-1- توربين‌هاي ممانعت تنظيم شده سرعت متغير | 17 |
| 2-3-2-2- توربين‌هاي سرعت متغير با زاوية گام قابل تنظيم فعال | 17 |
| 2-3-2-3- توربين‌هاي سرعت متغير با محدوده عملكرد كوچك | 18 |
| 2-4- **كنترل توربين بادي** | 18 |
| 2-4-1- فعاليت‌هاي قابل كنترل در توربين‌هاي بادي | 19 |

**فهرست مطالب**

|  |  |
| --- | --- |
| **عنوان مطالب** | **شماره صفحه** |

|  |  |
| --- | --- |
| 2-4-1-1- كنترل گشتاور آيروديناميكي | 19 |
| 2-4-1-2- كنترل گشتاور ژنراتور | 20 |
| 2-4-1-3- كنترل گشتاور ترمز | 20 |
| 2-4-1-4- كنترل جهت گيري دوران حول محور قائم | 21 |
| 2-4-2- كليات عملكرد توربين‌هاي متصل به شبكه | 21 |
| 2-5- **ژنراتورهاي مورد استفاده در توربين‌هاي بادي** | 22 |
| 2-5-1- ژنراتورهاي سنكرون | 23 |
| 2-5-2- ژنراتورهاي جريان مستقيم | 24 |
| 2-5-3- ژنراتورهاي القائي | 25 |
| 2-5-4- تحليل عملكرد ژنراتور القائي | 25 |
| 2-5-4-1- راه‌اندازي توربين بادي با ژنراتور القائي | 26 |
| 2-5-4-2- تحليل ديناميك ماشين القائي | 27 |
| 2-5-4-3- شرايط عملكرد خارج از محدوه طراحي | 28 |
| 2-5-4-4- مشخصه ژنراتور القايي دو سوتغذيه‌ | 28 |
| خلاصه فصل 2 | 30 |
| **فصل سوم : مدلسازي ژنراتور القائي با تغذيه دو‌بل** | 31 |
| 3-1- مقدمه | 32 |
| 3-2-عملكرد فوق سنكرون و زير سنكرون ژنراتور القايي دو سو تغذيه | 33 |
| 3-3- تبديل قاب مرجع | 35 |
| 3-3-1- تبديل قاب مرجع *abc/dq* | 35 |
| 3-3-2- تبديل قاب مرجع abc به | 39 |
| 3-4- مدل‌هاي ژنراتور القايي | 39 |
| 3-4-1- مدل بردار-فضا | 40 |
| 3-4-2- مدل قاب مرجع *dq* | 43 |
| *3-5- مدل مرتبه 3 ژنراتور القايي دو سو تغذيه* | 45 |
| *3-6- بيان پارامترها در سيستم پريونيت* | *45* |

**فهرست مطالب**

|  |  |
| --- | --- |
| **عنوان مطالب** | **شماره صفحه** |

|  |  |
| --- | --- |
| *3-7- كنترل اينورتر متصل به شبكه* | 47 |
| *3-8- كنترل چرخش ولتاژ(VOC)* | 48 |
| *3-9- كنترل چرخش ميدان(*FOC*)* | 51 |
| خلاصه فصل 3 | 53 |
| **فصل چهارم : طراحي كنترل‌كننده بهينه فيدبك حالت و خروجي** | 54 |
| 4-1- مقدمه | 55 |
| 4-2- مروري بر تحقيقات انجام شده در زمينه كنترل توان در *DFIG* | 56 |
| 4-3- توصيف سيستم | 58 |
| 4-4- مدل توربين بادي | 59 |
| 4-5- مدل ژنراتور القايي دو سو تغذيه | 60 |
| 4-6- مدل جعبه دنده | 61 |
| 4-7- مدل فيلتر *RL* | 62 |
| 4-8- فضاي حالت سيستم | 64 |
| 4-9- طراحي با جايدهي قطب | 67 |
| 4-10- طراحي كنترل‌كننده براي مدل تقويت شده | 71 |
| 4-11-شبيه سازي | 73 |
| 4-12- طراحي كنترل‌كننده *PI* جهت كنترل سرعت روتور (*wr*) | 83 |
| خلاصه | 86 |
| **فصل پنجم :** نتيجه گيري و پيشنهادات | 87 |
| پيوست‌ها | 91 |
| منابع و مأخذ | 92 |
| فهرست منابع فارسي | 93 |
| فهرست منابع لاتين | 95 |
| چكيده انگليسي | 96 |
| صفحه عنوان انگليسي | 97 |
| اصالت نامه | 98 |

**فهرست شكل‌ها**

|  |  |
| --- | --- |
| **عنوان** | **شماره صفحه** |

|  |  |
| --- | --- |
| شكل2-1- توربين‌هاي بادي مدرن واقع در مزرعه بادي | 8 |
| شكل2-2- انواع توربين‌هاي بادي | 10 |
| شكل 2-3- انواع توربين‌هاي بادي | 11 |
| شكل 2-4- دياگرام سيستم بادي | 12 |
| شكل 2-5- منحني توان بر حسب سرعت باد توربين بادي | 13 |
| شكل2-6- كلاس‌بندي ژنراتورهاي الكتريكي كه اغلب در توربين‌هاي بادي استفاده مي‌شوند | 23 |
| شكل 2-7- منحني توان، جريان و گشتاور ژنراتور القائي | 26 |
| شكل 2-8- منحني افزايش جريان بر حسب كاهش فركانس در ماشين القايي | 28 |
| شكل 2-9- دياگرام بلوكي توان‌هاي جاري شده در ژنراتورهاي القائي دو سو تغذيه | 29 |
| شكل 3-1- ساختار DFIG | 32 |
| شكل 3-2- مبدل پشت به پشت | 32 |
| شكل 3-3 الف : حالت فوق سنكرون | 33 |
| شكل 3-3 ب: حالت زير سنكرون | 34 |
| شكل 3-4- مشخصه گشتاور – سرعت DFIG | 34 |
| شكل 3-5-بردار فضاي *x* ومتغيرهاي سه فازش *xa,xb,xc* | 36 |
| شكل 3-6- تبديل متغيرها در قاب ساكن سه فاز(*abc*) به قاب دو فاز (*dq*) | 37 |
| شكل 3-7- تجزيه بردار فضاي *x* به قاب مرجع گردان (*dq*) | 38 |
| شكل 3-8- دياگرام ساده شده DFIG | 40 |
| شكل 3-9-مدار معادل بردار فضا ژنراتور القايي در قاب مرجع دلخواه | 42 |
| شكل 3-10- *مدل ژنراتور القايي در قاب سنكرون* | 43 |
| شكل 3-11- *مدل ژنراتور القايي در قاب ساكن* | 43 |
| شكل 3-12- *اينورتر متصل به شبكه در سيستم مبدل بادي* | 47 |
| شكل 3-13- *دياگرام فاز و PF* | 48 |
| شكل 3-14- *بلوك دياگرام كنترل چرخش ولتاژ(VOC)* | 49 |

|  |  |
| --- | --- |
| شكل 3-15- *كنترل چرخش ميدان شار روتور* | 52 |
| شكل 4-1- منحني مشخصه سرعت – توان توربين در زاويه گام صفر | 59 |
| شكل 4-2- سيستم كنترل حلقه باز | 69 |
| شكل 4-3- سيستم كنترل حلقه بسته | 69 |
| شكل 4-4- خطاي حالت دائمي توان راكتيو سمت استاتور | 70 |
| شكل *4-5- خطاي حالت دائمي توان راكتيو كانورترسمت شبكه (فيلتر RL)* | 71 |
| *شكل 4-6- پاسخ پله توان راكتيو سمت استاتور پيش از بهينه سازي* | 73 |
| *شكل 4-7- پاسخ پله توان راكتيو فيلتر RL پيش از بهينه سازي* | 74 |
| *شكل 4-8- پاسخ پله توان راكتيو سمت استاتور پس از بهينه‌سازي* | 74 |
| *شكل 4-9- پاسخ پله توان راكتيو فيلتر RL پس از بهينه سازي* | 75 |
| *شكل 4-10- نمودارسيگنال كنترل Vds پس از بهينه‌سازي* | 75 |
| *شكل 4-11- نمودارسيگنال كنترلVdg پس از بهينه‌سازي* | 76 |
| *شكل 4-12- نمودارسيگنال جريان مؤلفه d استاتور پس از بهينه‌سازي* | 77 |
| *شكل 4-13- نمودارسيگنال جريان مؤلفه d فيلتر RL پس از بهينه‌سازي* | 77 |
| *شكل 4-14- نمودارسيگنال جريان مؤلفه q فيلتر RL پس از بهينه‌سازي* | 78 |
| *شكل 4-15- نمودارسيگنال جريان مؤلفه q استاتور پس از بهينه‌سازي* | 78 |
| *شكل4-16- نمودارسيگنال جريان مؤلفه d روتور پس از بهينه‌سازي* | 79 |
| *شكل4-17- نمودارسيگنال جريان مؤلفه q روتور پس از بهينه‌سازي* | 79 |
| *شكل4-18- نمودارخطاي حالت دائمي توان راكتيو استاتور* | 80 |
| *شكل4-19- نمودارخطاي حالت دائمي توان راكتيو كانورتر سمت شبكه* | 80 |
| *شكل 4-20- منحني تغييرات سرعت روتور بر حسب پريونيت* | 81 |
| *شكل 4-21- پاسخ پله توان راكتيو سمت استاتور در سرعت روتور متغير* | 82 |
| *شكل 4-22- پاسخ پله توان راكتيو فيلتر RL در سرعت روتور متغير* | 82 |
| *شكل 2-23- نمودار بلوكي كنترل‌كننده PI* | 83 |
| *شكل4-24- تعييرات سرعت روتور پس از طراحي كنترل‌كننده**PI* | 83 |
| شكل4-25- پاسخ پله توان راكتيو استاتور پس از طراحي كنترل‌كننده *PI* | 84 |
| شكل4-26- پاسخ پله توان راكتيو فيلتر *RL* پس از طراحي كنترل‌كننده *PI* | 84 |
| شكل4-27- سيگنال ولتاژ مؤلفه d استاتور پس از طراحي كنترل‌كننده PI | 85 |
| شكل4-28- سيگنال ولتاژ مؤلفه *d* فيلتر *RL* پس از طراحي كنترل‌كننده *PI* | 85 |

**چكيده:**

بالا بودن ضريب نفوذ باد در سيستم‌هاي الكتريكي متصل به شبكه، چالش‌هاي جديدي را در رابطه با پايداري سيستم‌هاي قدرت به دنبال دارد. عليرغم ماهيت تصادفي باد، لازم است تا اطمينان به پايداري شبكه‌هاي قدرت تضمين شود. از آنجائيكه يكي از نيازهاي جديد شركت‌هاي توليدكننده برق ازطريق انرژي باد، تنظيم ولتاژ مي‌باشد، اين پايان​نامه بر روي كنترل توان راكتيو در نيروگاه‌هاي بادي مجهز به ماشين‌هاي القايي دوسوتغذيه متمركز شده است. در اين پايان نامه يك نيروگاه بادي 9 مگاواتي شامل شش عدد توربين بادي 5/1 مگاواتي و ژنراتور القايي دو سو تغذيه ( بطوريكه همه توربين‌ها در يك راستا قرار گرفته و بادهاي يكساني را دريافت مي‌كنند) مدلسازي شده است. در اين مدل كانورترهاي سمت روتور و شبكه با گين يك در نظر گرفته شده‌اند. براي كنترل توان راكتيو جاري شده در استاتور و فيلتر RL (اين فيلتر كانورتر سمت شبكه را به شبكه متصل مي‌كند) يك كنترل‌كننده فيدبك حالت و خروجي طراحي شده بطوريكه خروجي‌ها (توان‌هاي راكتيو جاري شده در استاتور و فيلتر RL)، ورودي‌هاي مرجع را دنبال كنند. بعد از طراحي كنترل‌كننده فيدبك حالت و خروجي، گين‌هاي اين كنترل كننده با استفاده از روش نيوتن بهينه سازي شده‌اند. در اين مدل در ابتدا سرعت روتور برابر با مقدار ثابتي در نظر گرفته شده، از آنجائيكه سرعت روتور در واقع مقدار ثابتي نيست و با تغيير سرعت باد ورودي به توربين، تغيير مي‌كند و باعث نوساني شدن توان‌هاي راكتيو مي‌گردد، به همين جهت براي كنترل سرعت روتور نيز يك كنترل‌كننده *PI* طراحي شده است. نتايج شبيه‌سازي عملكرد صحيح سيستم پيشنهادي را نشان مي‌دهد.