ارائه مدل و نقش ژنراتور القايي در توربين برق امواج

امير حسين قرشي
سازمان انرژي اتمي ايران

خلاصه

در اين مقاله ضمن معرفي و تشريح سيستم نيروگاه توليد برق از انرژي امواج، عملكرد توربين برق بادي با در نظر گرفتن پارامترهاي تجربي آن مورد بررسي قرار ميگيرد. مولد مدل مربوطه يك ژنراتور القايي۱۵۰ كيلوواتي متصل به شبكه محلي ميباشد. تغييرات در توان ژنراتور مزبور متأثر از طول موج و نوسانات فصلي در امواج دريا ميباشد كه موجب نوسانات زودگذر ولي قابل توجهي در بازدهي ژنراتور ميگردد. نوسانات مزبور تحت عنوان حالت ترانزيت تواتري، مورد تجزيه و تحليل قرار گرفته است و منحني مختصات هر يك تشريح شده است. نتايج اين مقاله در طراحي بهينه توربينهاي توليد برق از انرژي امواج مؤثر مي باشند.

واژههاي كليدي : ژنراتور القايي، توربين برق امواج

۱ـ مقدمه

امواج در اثر انتقال انرژي از باد به دريا به وجود مي‌آيند. نرخ اين انتقال انرژي بستگي به سرعت باد و مسافتي دارد كه در طول آن باد با سطح آب در تماس است. قدرت موج بر حسب كيلوولت بر متر مي‌باشد كه بيانگر نرخ انتقال انرژي از عرض يك مسير معيني به طول يك متر و موازي با جبهه موج مي‌باشد. بالاترين دانسيته انرژي امواج در سواحلي كه در معرض ميدان وزش بادهاي طولاني و مستمر قرار دارند به وجود مي‌آيد. علي‌رغم پوشش بيش از دو سوم كره زمين توسط دريا‌ها و وجود سواحل گسترده و مساعد جهت استحصال انرژي كلان نهفته در امواج نيرومند دريا‌ها متأسفانه بشر نتوانسته است به صورت بايسته‌اي از اين منبع عظيم انرژي بهره‌برداري نمايد. در طي قرن اخير، ايده استحصال انرژي از امواج كماكان به صورت پراكنده مطرح بوده است ولي عملاً در راستاي اين امر در دهه ۱۹۷۰ تعدادي از كشورها از جمله انگلستان، آمريكا، هندوستان، ژاپن، ايرلند و كانادا پروژه‌هايي غالباً در سطوح آزمايشي و تحقيقاتي راه‌اندازي نموده‌اند. آنچه باعث تفكيك سيستمهاي تبديل انرژي امواج مي‌گردد مبتني بر روشي است كه توربين امواج را به حركت در مي‌آورد [۲ـ۱]. اين روشها عبارتند از: بالا و پايين رفتن (Heaving)، بالا و پايين رفتن و غلتيدن (Heaving & Pitching)، غلتيدن و نوسان ستون آب (Osciallating Water Column) و پس‌زني (Surge) .

يك سيستم تبديل انرژي امواج را مي‌توان به سه بخش ايجاد حركت، توربين و بخش ژنراتور الكتريكي تفكيك نمود. بخش تحرك كه موجب حركت توربين مي‌شود متناسب با روشهاي چهارگانه فوق‌الذكر داراي اشكال و سازه‌هاي مختلفي مي‌باشد ولي عموماً روش ستون نوسانگر آب يا OWC روشي است كه در اغلب پروژه‌هاي بهره‌برداري از انرژي امواج عمل جذب انرژي امواج، جهت انتقال به توربين را عهده‌دار مي‌باشد. از جمله نيروگاه‌هاي برق امواج از نوع OWC، نيروگاه‌هاي ۷۵، ۱۵۰ و ۵۰ كيلوواتي مي‌باشند كه به ترتيب در كشورهاي انگليس، هند و ژاپن به عنوان پروژه‌هاي تحقيقاتي و آزمايشي احداث و راه اندازي شده‌اند. در اين مقاله نيروگاه ۱۵۰ كيلوواتي مستقر در بندر ويزينجام واقع در استان كرلا كشور هندوستان كه نگارنده در تحقيقات و طراحي بخش الكتريكي آن مشاركت داشته است به عنوان مدل پروژه اين كار تحقيقاتي مورد بررسي و تحليل قرار مي‌گيرد.

۲ـ مدل پروژه توربين برق امواج

اين پروژه تحقيقاتي توسط بخش بهره‌برداري و توسعه اقيانوسهاي هندوستان اجرا شده است. بخشهاي الكتريكي پروژه توسط گروه ماشينهاي الكتريكي دانشكده برق و الكترينك " IIT " دهلي برنامه‌ريزي و طراحي شده است. اولين ژنراتور القايي جهت تبديل نيروي امواج با ظرفيت ۱۵۰ كيلووات توسط گروه مزبور و با تحقيق نگارنده در سال ۱۹۹٤ طراحي گرديد و متعاقباً اين ژنراتور طبق مشخصات طراحي شده توسط كمپاني كيلسكر هندوستان ساخته شد. در حال حاضر نيروگاه مزبور با موفقيت كامل تحت بهره‌برداري مي‌باشد. شكل شماره (۲) اسكلت اين واحد نيروگاه برق امواج را نشان مي‌دهد. مشخصات بخشهاي مختلف اين نيروگاه به شرح زير مي‌باشند:

۱ـ۲ـ محرك و توربين پروژه

توربين به كار گرفته در اين پروژه از نوع توربين "ولز" مي‌باشد. اين توربين به روش OWC به حركت در مي‌آيد.

Fig.1 Principle of oscillating water column wave energy converter

Fig.2 Cross section of the proptotype

اصول كار OWC در شكل شماره (۱) نشان داده شده است. در اينجا حفره‌اي كه از قسمت پايين باز است، در مسير حركت موج قرار مي‌گيرد. نيروي امواج كه به صورت تواتري به حداكثر و حداقل مي‌رسد باعث انقباض و انبساط (رفت و برگشت) هوا در محفظه قسمت بالاي حفره شده و جريان هوا با حركت تواتري مشابهي از دهانه بالايي حفره عبور مي‌نمايد. سپس جريان دوطرفه وارد توربين ولز شده و آن را به حركت در مي‌آورد. توربين ولز به عنوان توربين يكسو كننده جريان هوا عمل

مي‌نمايد و تحت جريان ورودي دوطرفه چرخش توربين كماكان در يك جهت باقي مي‌ماند. تيغه‌هاي توربين ولز نسبت به صفحه دوران داراي پروفيل قرينه و متقارن بوده و در طول شعاع بدون پيچش مي‌باشند. بنابراين طول وتر در سرتاسر تيغه ثابت است و سطح جاروب تيغه‌ها حدوداً ٦٠% سطح حلقوي توربين مي‌باشد. حداكثر راندمان توربين ٦٠ درصد است و تأمين اين راندمان تحت زاويه حمله بسيار كوچك حدود ١٠ الي ١٥ درجه امكان پذير مي‌باشد .جدول شماره (١) مشخصات فيزيكي اين توربين را نشان مي‌دهد.

جدول ١ـ مشخصات توربين برق امواج

Average Power	52.4 KW
Maximum Power	150 KW
Rated Speed	850 rpm
Turbine Tip Diameter	2 m Approximaty
Approt. Range & Speed	700-1000 rpm
Hub-tip diameter	0.6 m
No. of Blades	8
Blade Chord	320 mm
Blade Profile	NACA 0021

٢ـ٢ـ ژنراتور پروژه

در كنار گزينه‌اي كه آيا ژنراتور پروژه متصل به شبكه و يا مستقل از شبكه باشد، انتخاب ژنراتور از نوع جريان متناوب و جريان مستقيم و يا حتي در حالت متناوب نوع آسنكرون و سنكرون آن از جمله مباحث مطرح در اين گونه پروژه‌ها مي‌باشند. ژنراتور جريان مستقيم هرچند از پايداري خوبي برخوردار مي‌باشد ولي به علت قيمت بالا و هزينه سرويس و نگهداري بالاتر از رده انتخاب خارج است. با توجه به اينكه توربين و محرك ژنراتور به علت نيروي متغير امواج داراي سرعتي متواتر و متغير مي‌باشد لذا كاربري ژنراتور سنكرون باعث توليد فركانس متغير مي‌شود كه جهت رفع آن بايستي يك مبدل تنظيم فركانس (Frequency Convertor) و يا وارونگر سرعت متغير و فركانس ثابت (VSCF) به مدار اضافه گردد. مضافاً اينكه به كار گرفتن روش اتوماتيك جهت سنكرون نمودن خروجي ژنراتور به شبكه و نيز يك منبع جريان مستقيم براي تأمين جريان ميدان مغناطيسي لازم مي‌باشد. وجود حلقه‌هاي اصطكاك و جاروبك‌ها در ژنراتور سنكرون، قطعات مضاعفي هستند كه مستلزم سرويس و نگهداري مي‌باشند. در صورتي كه ژنراتور

آسنکرون، ضمن عاري بودن از مسائل فوق‌الذکر الکتریسته تبدیل شده را مستقیماً به شبکه تزریق مي‌نماید و داراي بدنه‌اي مقاوم و مساعد براي محیطهاي داراي شرایط سخت نظیر سواحل دریایي مي‌باشد. شبکه متصل به ژنراتور القایي ضمن تأمین ولتاژ و فرکانس، نیروي رآکتیو مورد نیاز ژنراتور را نیز تأمین مي‌نماید و تخلیه نیروي رآکتیو از شبکه به خصوص در نیروگاه‌هاي برق امواج متمرکز نبوده و در مساحت وسیعي به موازات ساحل گسترده مي‌باشند و لذا براي شبکه مشکل‌ساز نخواهند گردید. به خصوص در مورد نیروگاه‌هایي در ظرفیت مدل پروژه، تخلیه نیروي رآکتیو زیاد مؤثر نبوده ولي به هر حال بکار گرفتن خازن مهارکننده تخلیه توان رآکتیو امري است پیش‌گیرنده و اجتناب‌ناپذیر که غالباً به همراه ژنراتورهاي القایي کاربرد دارد. مع‌الوصف، ژنراتور القایي مورد استفاده در نیروگاه برق امواج نمي‌تواند از نوع الکتروموتورهاي معمول باشد و باید برخوردار از شرایط خاصي به شرح زیر باشد:

- در شرایط قطع شبکه نیروي سیستم به صفر مي‌رسد در حالي که توربین شتاب داشته و امکان وقوع حالت سرعت مضاعف و تا حد دو برابر سرعت سنکرون بعید نمي‌باشد. بنابراین ژنراتور بایستي طوري طراحي گردد که روتور آن قادر به تحمل سرعتي درحد دو برابر سرعت سنکرون باشد.
- بدنه ژنراتور باید طوري طراحي گردد (طبق استاندارد IP-55) که قادر به محافظت بخشهاي داخلي از رطوبت بالاي حاکم بر محیطهاي دریایي و حتي مقاوم در برابر ریزش آب باشد.
- با توجه به اینکه توربین نیروگاه برق امواج داراي شافت عمودي مي‌باشد بنابراین فلانچ شافت عمودي لازم است.
- به علت شرایط کاري نامساعد، احتمال گرم شدن ژنراتور از حد مجاز زیاد است لذا ژنراتور باید در کلاس F و حرارت محیط ٤٥ درجه سانتیگراد باشد.
- عموماً عملکرد ژنراتور القایي در محدوده تعریش منفي (Slip) صفر الي ١٠% پایدار مي‌ماند ولي در ژنراتور نیروگاه برق امواج به دلیل تغییرات زیاد در سرعت توربین باید برخوردار از محدوده بالاتري از تعریش باشد. براي مثال محدوده توان خروجي پایدار براي ژنراتور مدل پروژه باید در حد ٢٠ الي ١٥٠ کیلووات کارآیي داشته باشد.
- ژنراتور بایستي متناسب با مشخصات توربین امواج طراحي و ساخته شود.

مشخصات ژنراتور القایي به کار گرفته در نیروگاه مدل پروژه به شرح جدول (٢) مي باشد.

جدول ۲ـ مشخصات ژنراتور القايي

Rating	:	150	kw
Line voltage	:	415	V
Line current	:	250	A
Hz .	:	50	
Pole No.	:	6	
Base power	:	150	Kw
Stator connection	:	Star	
Rs (/phase)	:	0.012	
Rr “	:	0.082	
Xs “	:	0.08	
Xr “	:	0.063	
Rm “	:	43.0*	
Xm “	:	2.67*	

(* At nominal voltage)

۳ـ۲ـ عملكرد نيروگاه

به عنوان يك پروژه آزمايشي و به علت عدم دسترسي به آمار و اطلاعات عملي و متقن پيرامون عملكرد اين گونه نيروگاه‌ها وجود يك سيستم كنترل رايانه‌اي جهت اندازه‌گيري و ثبت آمار و اطلاعات در مورد پارامترهاي نيروگاه از مشخصات امواج گرفته تا مؤلفه‌هاي الكتريكي از ضروريات اين پروژه مي‌باشد.

اختلال در عملكرد نيروگاه (ژنراتور القايي) به دليل عدم ثبات و پايداري پارامترهاي شبكه متصله از معضلاتي است كه عموماً ژنراتورهاي القايي متصل به شبكه چه در نيروگاه برق بادي و يا امواج با آن مواجه مي‌باشند و اين امور قبلاً توسط نگارنده مورد بررسي و تحقيق واقع شده اند [۵ـ۳] .از جمله مسايل مستثنايي كه خاص نيروگاه‌هاي برق امواج مي‌باشد حالت حداقل و حداكثر نيرو و خصوصيت تواتري نيروي ورودي ژنراتور القايي مي‌باشد. در يك دور (سيكل) به علت عوض شدن جهت، دو بار جريان هوا از حركت بازمانده و نيروي حاصله به صفر مي‌رسد. از آنجايي كه نيروي توليد شده توسط توربين‌هاي بادي نسبت مستقيم با مكعب سرعت هوا دارد، بنابراين بازدهي توربين نيز به صورت تواتري در نوسان خواهد بود. براي بررسي عملكرد ژنراتور تحت اين گونه نوسانات لازم است معادلات ديناميكي در شرايط ترانزيت را به شرح زير حل نمود.

۳ـ مدل رياضي و رايانه‌اي

معادلات ديناميكي يك الكتروموتور القايي سه فاز [۷ـ۶] عبارتند از :

$$\rho[i_o]=[X_0]^{-1}[\mathbf{V_0}]$$

$$T_e = \mathbf{2X_m}\left(i_{\mathbf{rx}}i_{sy} - i_{sx}i_{ry}\right)$$

$$p[i_o]=[X_0]^{-1}[V_0] \quad (۱)$$

$$T_e=2X_m(i_{rx}i_{sy} - i_{sx}i_{ry}) \quad (۲)$$

معادله شماره (۱)، مشتق‌برداري شدت جريان برحسب پارامترهاي الكتروموتور، سرعت و ولتاژ ترمينال مي‌باشد. معادله شماره (۲) گشتاور الكترومكانيكي است كه به ازاي مؤلفه‌هاي شدت جريان و برحسب واحد مبنا (Per Unit) محاسبه مي‌شود. سپس مي‌توان مشتق سرعت را از موازنه گشتاور مكانيكي تحت معادله زير به دست آورد.

$$\rho\mu = \frac{\left(T_e - T_m\right)}{2\omega H} \quad (۳)$$

كه در معادلات فوق،

$$[X_o]=\begin{bmatrix} X_s & o & X_m & o \\ o & X_s & o & X_m \\ X_m & o & X_r & o \\ o & X_m & o & X_r \end{bmatrix}$$

$$[i_0]=\begin{bmatrix} i_{sx} & i_{sy} & i_{rx} & i_{ry} \end{bmatrix}_t$$

$$[V_o]=\begin{bmatrix} V_{sx} - R_s i_{sx} \\ V_{sy} - R_s i_{sy} \\ -R_r i_{rx} - \mu X_m i_{sy} - \mu X_r i_{ry} \\ -R_r i_{ry} + \mu X_m i_{sx} + \mu X_r i_{rx} \end{bmatrix}$$

$$X_s = X_{ls} + X_m \quad \text{and} \quad X_r = X_{lr} + X_m$$

$$H = \frac{J\omega_m^2}{2P_b} \quad \text{and} \quad P_b = \text{Base Power in Watts}.$$

معادلات ديناميكي (۳-۱) براي مطالعه و بررسي كليه حالات ترانزيت به كار گرفته مي‌شوند كه البته در اين محاسبات عوامل اشباع مغناطيسي، تلفات هسته‌اي، پديده پوسته‌اي و اثر هارمونيكي در نظر گرفته نشده است و كليه پارامترها غيرمتغير و ثابت مي‌باشند. در اينجا مؤلفه‌هاي شدت جريان يعني $I_{sx}, I_{sy}, i_{rx}, i_{ry}$ و سرعت μ متغيرهاي وابسته سيستم مي‌باشند كه بردار مشتقشان برحسب متغيرهاي مزبور، پارامترهاي سيستم، ولتاژ ورودي و متغير مستقل $\theta = wt$ توسط معادلات (۳-۱) پس از مشخص شدن ميزان اوليه مؤلفه‌هاي ولتاژ يعني V_{sx}, V_{sy} به دست مي‌آيد.

مطالعات ترانزيت در ژنراتورهاي القايي در حالات استارت، سوئيچ مجدد، اتصال لحظه‌اي و غيره كه غالباً

در كاربري ژنراتور القايي در توربين‌هاي برق بادي و توربين‌هاي آبي كوچك حادث مي‌شوند توسط نگارنده در مقالات قبلي به چاپ رسيده است كه در مورد توربين برق امواج نيز صادق مي‌باشند [٦ـ٤]. مسئله جديد و جدي كه در رابطه با توربين برق امواج با آن مواجه هستيم طبيعت تواتري انرژي امواج مي‌باشد كه در اين مقاله اين نوع ترانزيت مورد بررسي قرار مي‌گيرد.

Fig.3. Pulsating input torque characteristics for the wave energy sysytem

(a) Current and speed transients.

(b) Transient in input and output power

Fig. 4(a-b) Transient response of the wave model by the pulsating wave torque

٤ـ حالت پالسي انرژي امواج

از بزرگترین موانع و مسائل مربوط به نیروگاه برق امواج که احتمالاً دلیلی بر علل عدم توسعه بهره‌برداری از انرژی امواج می‌تواند باشد، حالت تواتری و ضربه‌ای حرکت امواج است که نیروی حاصله در هر سیکل ۸ الی ۱۰ ثانیه‌ای (یک حرکت رفت و برگشت) دومرحله به حداکثر و حداقل می‌رسد. بنابراین گشتاور وارده در زمانی در حدود ٤ تا ٥ ثانیه از صفر به حداکثر رسیده و دوباره به صفر بر می‌گردد. در مواقعی که جریان موج ضعیف است امکان اینکه سرعت ژنراتور از سرعت سنکرون کمتر شده و به حالت موتور در بیاید بعید نمی‌باشد. که در آن صورت به جای تزریق توان اکتیو به شبکه به یک الکتروموتور مصرفکننده توان اکتیو تبدیل می‌شود. بنابراین شناخت این وضعیت و متعاقباً اتخاذ تدابیر اولیه طراحی و نیز تدابیر تدارکاتی در امحاء حالت پالسی از ملزومات این سیستم می‌باشد.

عملکرد توربین برق امواج در حالت ترانزیت پالسی منبعث از امواج را نیز می‌توان مشابه دیگر حالات ترانزیت با حل معادلات (۳-۱) بررسی و مشخص نمود. در این حالت شبیه حالت استارت، مقادیر اولیه سرعتμ و مؤلفه‌های شدت جریان صفر می‌باشند. وضعیت اولیه گشتاور وارده به شافت به صورت پالسی بوده و در شکل شماره (۳) نشان داده شده است. در اینجا حداکثر توان به میزان ۱/٥ برابر توان اسمی محاسبه شده است. در این حالت متوسط فرکانس تواتری امواج به میزان ۰/۱ در نظر گرفته شده است. بنابراین نیروی تولید شده در هر ٥ ثانیه یکبار از حداکثر به حداقل صفر می‌رسد. لازم به ذکر است که سرعت تواتر یک موج به فصل و نوع آب و هوای منطقه بستگی دارد. به دلیل نوسان در نیروی ورودی ژنراتور، نیروی الکتریسته تولید شده نیز تواتری می‌گردد و شکل شماره (٤) نتایج حل معادلات دینامیکی برای ترانزیت حالت پالسی است که منحنی ترانزیت در توان ورودی، توان خروجی، شدت جریان و سرعت نیروگاه ۱٥۰ کیلوواتی را نشان می‌دهد.

٥- نتیجه‌گیری

- با توجه به تجارب و مطالعات انجام شده، بهره‌برداری از انرژی امواج در سطح گسترده امکان‌پذیر می‌باشد. لازم است این امر در راستای استحصال انرژی عظیم امواج در وسعت سواحل شمال و جنوب ایران نیز مورد توجه واقع گردد.
- استفاده از ژنراتور القایی در توربین برق امواج و اتصال آن به شبکه محلی/ سراسری از مناسبترین سیستم‌های تولید برق از نیروی امواج می‌باشد. همانگونه که در مقاله تشریح گردید، عملاً کارآیی و مسائل مواجه با اینگونه نیروگاه برق امواج

شناسايي شده اند و لذا برنامه توسعه بهره‌برداري انرژي امواج در مجموعه انرژي‌هاي تجديدپذير را مي‌توان در اولويت بالاتري قرار داد.

- بررسي كارآيي و عملكرد ژنراتورهاي القايي متصل به شبكه در نيروگاه هاي برق امواج تحت شرايط غيرعادي و حالات ترانزيت، خاصه در توربين‌هاي برق امواج بسيار حائز اهميت مي‌باشد. اين گونه ترانزيت را نيز مي‌توان از طريق معادلات ديناميكي و با استفاده از تئوري مؤلفه‌هاي متقارن لحظه‌اي (instantaneous symmetrical component) و نيز روش RKM براي شبيه‌سازي و تهيه نرم‌افزار رايانه‌اي تحليل و بررسي نمود. همان گونه كه در شكل (٤) آمده است مي‌توان نتايج به دست آمده براي حالات ترانزيت در مدل پروژه برق امواج ١٥٠ كيلوواتي را به راحتي تحليل نمود. تأثيرات بر شدت جريان، نشان‌دهنده ترانزيت در زمان شروع (٠/٠٥ ثانيه) مي‌باشد كه متعاقباً به حالت نوسانات تناوبي متعادل تبديل مي‌گردد . روند منحني سرعت نيز شاهد حداكثر ترانزيت ١/١٥٥ برابر مي‌باشد كه پس از گذشت ٠/٠٧١ ثانيه به صورت تناوبي بالاتر و كمتر از سرعت سنكرون تواتر مي‌كند. بنابراين متناسب با نوع امواج در مناطق مختلف، الكتروموتور به كار گرفته شده در هر دو حالت موتور و ژنراتور كار مي‌كند. اين گونه روند سرعت منجر به ذخيره انرژي اينرسي كافي نشده و لذا لازم است ژنراتور القايي براي دامنه وسيع‌تري از سرعت طراحي گردد تا بتوان انرژي اينرسي بيشتري ذخيره كرده و در حالت افت سرعت از موتور شدن ژنراتور جلوگيري نمود. توان خروجي ژنراتور كه ضريبي از حالات لحظه‌اي ولتاژ و شدت جريان مي‌باشد. طبق منحني شكل (٤ ــ ب) متناسب با گشتاور وارده در تواتر مي‌باشد.

نظر به اينكه براي اولين بار است كه اين گونه تحقيقات در مورد نيروگاه هاي برق امواج صورت گرفته است لذا اميد است كه نتايج مزبور جهت توسعه تحقيقات و احداث اينگونه نيروگاه‌هاي نوظهور، مثمر ثمر واقع شود.

ليست اصطلاحات

R_s, R_r	Stator, rotor resistance (per phase)
X_{ls}, X_{lr}	Stator, rotor leakage reactance (per phase)
R_m, X_m	Core loss resistance and magnetizing reactance (per phase)
v_{sx}, v_{sy}	Real and imaginary parts of the i.s.c. voltage
i_{sx}, i_{sy}	Real and imaginary parts of the i.s.c. currents
ω	Base angular frequency in radian/sec
ρ	Operator (d/ dt)
T_e	Instantaneouse developed electromagnetic torque
ω_m	Synchronouse speed in mechanical radian/sec

μ Per unit rotor speed
T_m Shaft load torque
J Moment of inertia
H Inertia constant of the rotating parts of the system
θ Angular velocity = ωt
RKM = Runge Kutta Merson

مراجع

1- J. M. Leishman, G. Scobie, "The Developments of Wave Power" NEL Report No. EAM25, 1976.
2- New Renewable Energy Resources, book published by WEC,1994 (Translated in persian by Deptt. of Energy, Ministry of Power, Tehran, Iran, 1994).
3- A.H. Ghorashi, "Investigations on grid connected induction generators relevant to wind/hydro/wave energy systems", Ph-D thesis, IIT Delhi 1993.
4- A. H. Ghorashi, S. S. Murthy, B. P. Singh, " Analysis of Wind Driven Grid Connected Induction Generators Under Unbalanced Grid Conditions", IEEE Transaction on Energy Conversion, Vol. 9, No. 2, June 1994, pp 217-223.
5- A. H. Ghorashi, S. S. Murthy, " Investigation on Grid Connected Wind and Mini Hydro Generating Systems", Proc. ICEE-93, Amirkabir University of Technology, Iran, 1993.
6- A. H. Ghorashi, S.S. Murthy, "Transient Analysis of Induction Generators Actuated by Renewable Energy Sources to Feed Power to Local Grids", IEEE/PES, Summer Meeting, USA, 1994.
7- S. S. Murthy, G. J. Berg, "A New Approach to Dynamic Modelling and Transient Analysis of SCR Controlled Induction Motors", IEEE Trans. , PAS-101, No. 9, 1982, p 3141.