

## روشی جدید برای تحلیل عملکرد حالت دائم ژنراتور القایی سه فاز

کورش انصاری  
عضو هیأت علمی گروه برق  
دانشگاه فردوسی مشهد  
[ansari@um.ac.ir](mailto:ansari@um.ac.ir)

محمد ناصر هاشم‌نیا  
دانشجوی کارشناسی برق - قدرت  
[naserhashemnia@yahoo.com](mailto:naserhashemnia@yahoo.com)

**چکیده** - در این مقاله روشی جدید برای تحلیل عملکرد حالت دائم ژنراتور القایی سه‌فاز مبتنی بر می‌نیمم کردن کاندوکتانس دیده شده از دو سر شاخه مغناطیس‌کنندگی (شاخه شنت) یا شاخه خازن شنت ارائه می‌گردد. سادگی روش، عدم وجود مشکل همگرایی<sup>۱</sup>، بی‌نیازی از محاسبات جبری پیچیده و خسته‌کننده، انعطاف‌پذیری<sup>۲</sup>، قابلیت تعمیم به بارهای  $RC$  و حالت وجود جبران‌سازی<sup>۳</sup> و دقت بالا از مزایای این روش است. روش‌هایی ساده

برای یافتن فرکانس، راکتانس مغناطیس‌کنندگی و می‌نیمم مقدار خازن مورد نیاز ارائه شده است. نتایج کامپیوتری به دست آمده، توافق این روش را با روش‌های متداول دیگر نشان می‌دهند.

**کلید واژه** - جبران‌سازی، خودتحریکی، ژنراتور القایی، می‌نیمم ظرفیت خازن

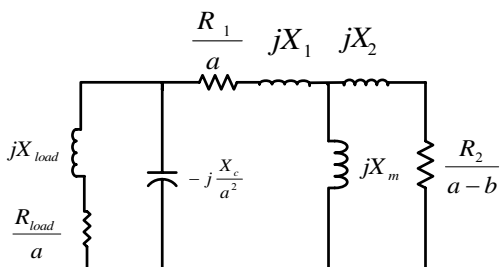
<sup>1</sup> Convergence  
<sup>2</sup> Flexibility  
<sup>3</sup> Compensation

ژنراتور القایی در سال‌های اخیر به‌خصوص در ارتباط با منابع انرژی تجدیدپذیر مثل باد مورد توجه قرار گرفته است. مزایای آن بر ژنراتور سنکرون عبارتند از: قیمت پایین، مقاوم بودن، فقدان جاروبک، عدم نیاز به تحریک dc، ساختمان ساده و محکم، احتیاج بسیار کم به تعمیر و نگهداری، عدم نیاز به سرعت ثابت روتور، قابلیت تأمین انرژی از منابع محلی، عمر طولانی، نسبت قدرت به وزن بالا و حفاظت خودی. خودتحریکی در یک ژنراتور زمانی اتفاق می‌افتد که روتور آن توسط یک محرک اولیه گرداننده شده و مقدار کافی خازن به پایانه‌های آن متصل شده باشد. در این صورت شارپسماند هسته روتور باعث القای ولتاژ در استاتور شده و جریانی پیش‌فاز از بانک خازنی خواهد گذشت. در نتیجه توان راکتیو تولید شده توسط بانک خازنی میدان مغناطیسی ناشی از پسماند تقویت شده و نتیجتاً ولتاژ تقویت خواهد شد. این فیدبک مثبت تا آنجا ادامه می‌یابد که ولتاژ و جریان‌های القا شده در ماشین به یک مقدار نقطه تعادل ناشی از اشباع مغناطیسی برسند. در این حالت برخلاف ژنراتورهای القایی متصل به شبکه فرکانس و ولتاژ القا شده در ماشین حتی اگر سرعت محرک اولیه ثابت باشد با ظرفیت خازن، اندازه امپدانس بار و ضریب قدرت تغییر خواهند کرد. در نتیجه مسئله مهم در ژنراتور القایی خودتحریک تعیین ولتاژ و فرکانس کار ماشین با داشتن پارامترهای آن، ظرفیت خازن و سرعت می‌باشد. از طرفی اطلاع از مینیمم مقدار ظرفیت خازن که باعث خودتحریکی شود از اهمیت خاصی برخوردار است زیرا مهندسين طراح و بهره‌بردار را قادر می‌سازد که مقدار

مناسب خازن تحریک را برای یک ماشین مخصوص انتخاب کنند.

## ۲-۲- تحلیل مدار معادل:

مدار معادل<sup>۱</sup> SEIG که در تحلیل حالت دائم غالباً از آن استفاده می‌شود در شکل (۱) آمده است:



شکل (۱): مدار معادل SEIG

لازم به ذکر است که مدار به فرکانس مینا ارجاع داده شده است. ضمناً از تلفات هسته به دلیل این که در ماشین‌های معمول  $R_c$  از  $X_m$  خیلی بزرگتر است صرف-نظر شده و کلیه امپدانس‌ها غیر از راکتانس مغناطیس-کنندگی که با درجه اشباع تغییر می‌کند ثابت در نظر گرفته شده است. به علاوه هارمونیک‌های فضایی mmf و هارمونیک‌های زمانی در شکل موج‌های ولتاژ و جریان نادیده گرفته شده است. هرچند محققان زیادی تلاش‌های مختلف برای تحلیل مدار معادل کرده‌اند، می‌توان آن‌ها را در دو گروه کلی زیر طبقه‌بندی نمود:

### ۲-۱- روش امپدانس حلقه [۱]: تحت شرایط حالت

کار دائم داریم:

$$(1)$$

$$Z_{loop} I_{loop} = 0$$

که در آن:

<sup>۱</sup> Self Excited Induction Generator

شدن در محاسبات ضرایب پیچیده معادلات تعادل از طرف دیگر است. هر چند آقای Chan ادعا می‌کند که همگرایی این روش سریع است (نیاز به ۳ تا ۶ تکرار<sup>۱</sup> برای به دست آوردن دقت  $1.0e-06$  در فرکانس پریونیت برای بارگیری سبک و معمولی و تا ۸ تکرار برای بارگیری سنگین) ولی برای بارگیری سنگین و شرایط عدم تولید ولتاژ نیاز به تعداد تکرارهای بالاتر هم مشاهده شده است.

### ۳-۳- می نیمم ظرفیت خازنی:

با توجه به منحنی O.C.C مشخص می‌شود که هسته ژنراتور القایی می‌تواند راکتانس مغناطیس‌کنندگی بین  $X_{m,max}$  تا  $X_{m,max}$  داشته باشد.  $X_{m,max}$  مربوط به کار در ناحیه خطی و  $X \approx 0$  مربوط به ورود به نهایت اشباع است. در حالتی که راکتانس مغناطیس‌کنندگی در ماکزیمم مقدار خود است، می‌نیمم توان راکتیو توسط  $X_m$  مصرف شده و در نتیجه در این حالت توان راکتیو تولیدی توسط خازن تحریک هم باید می‌نیمم باشد. در نتیجه  $X_c$  در ماکزیمم مقدار خود بوده و  $C$  متناظر در می‌نیمم مقدار خود است. با استدلال مشابه می‌توان نتیجه گرفته هر چه وارد ناحیه اشباع شویم مقدار خازن مورد نیاز افزایش می‌یابد. در این مقاله روشی جدید برای تعیین می‌نیمم ظرفیت خازنی مورد نیاز ارائه خواهد شد. در مرجع [۴] مولفان از مدار معادل تقریبی برای به دست آوردن نیاز خازنی SEIG در بی باری استفاده کرده و فرمول‌هایی برای خازن مورد نیاز در بی باری و بارداری ارائه کرده‌اند. پس از آنها آقای Alolah و دیگران روشی مستقیم برای محاسبه  $C_{min}$  با استفاده از مقدار امپدانس حلقه به کار بردند. آقای Chan در [۶] روشی ساده مبتنی بر ادمیتانس گره برای به

$$Z_{loop} = \left( \left( \frac{R_{load}}{a} + jX_{load} \right) \parallel -j \frac{X_c}{a^2} \right) + \left( \frac{R_1}{a} + jX_1 + (jX_m \parallel (jX_2 + \frac{R_2}{a-b})) \right) \quad (2)$$

از آن جا که برای داشتن ولتاژ غیرصفر باید  $I_{loop} \neq 0$  پس از (۱) نتیجه می‌شود که  $Z_{loop}$  باید صفر باشد یا قسمت حقیقی و موهومی آن صفر باشد. با صفر قرار دادن قسمت حقیقی و موهومی امپدانس حلقه به دو معادله غیرخطی برحسب  $a$  و  $X_m$  می‌رسیم که با روش‌های عددی از جمله روش نیوتن رافسون قابل حل است. با داشتن  $a$  و  $X_m$  و به کمک منحنی O.C.C مدار معادل به طور کامل تحلیل شده و می‌توان شرایط حالت کار دائم SEIG را پیش‌بینی نمود.

### ۲-۲ روش ادمیتانس گره [۲]: در این روش

ادمیتانس دو سر گره فاصله‌هایی (شاخه شنت) در نظر گرفته می‌شود. طبق قانون بقای انرژی باید توازن توان اکتیو و راکتیو برقرار باشد. برای توان اکتیو تولیدی روتور و توان اکتیو مصرفی استاتور به ترتیب داریم:

$$(3)$$

$$P_r = -|E_\phi|^2 g_r$$

$$(4)$$

$$P_s = |E_\phi|^2 g_s$$

که در آن  $E_\phi$  ولتاژ شاخه شنت بوده و  $g_r$  و  $g_s$  به ترتیب کندوکتانس روتور و استاتور هستند. پس از اندکی محاسبات جبری به یک چندجمله‌ای برحسب  $a$  می‌رسیم که در حالت بار اهمی خالص از درجه ۵ است.  $a$  با استفاده از روش‌های عددی قابل به دست آوردن است. پس از به دست آوردن  $a$ ، از توازن توان راکتیو می‌توان  $X_m$  را بدست آورد. هر چند هر دو روش ذکر شده در بالا برای به دست آوردن عملکرد ماشین موثر هستند ولی هر دو این مشکل را دارند که اولاً درگیر محاسبات جبری طولانی و خسته کننده هستند، ثانیاً جزئیات ضرایب با مدار معادل تغییر می‌کند. مثلاً تغییر بار از R-L به R-C یا داشتن جبران‌سازی سری درجه معادلات را تغییر خواهد داد. از این رو این روش‌ها از انعطاف لازم برخوردار نیستند. از این رو آقای Chan روشی تکراری را مطرح می‌کند که مزیت آن کلی بودن روش از یک طرف (امکان در نظر گرفتن بار R-C، تلفات هسته و جبران‌سازی سری) و عدم درگیر

<sup>1</sup> Iteration

دست آوردن  $C_{min}$  ارائه کرده است. در [۷] مولفان با استفاده از مفهوم ادمیتانس گره و نوشتن معادله KCL در گره‌های دو سر خازن شنت و دو سر راکتانس مغناطیس کنندگی روش تکراری ارائه کرده، عبارتی برای فرکانس پریونیت SEIG بدست آورده‌اند. سپس مقدار  $X_C$  و بعد مقدار  $C_{min}$  را به دست آورده‌اند. در [۸] آقای Eltamaly از روش ادمیتانس گره استفاده می‌کند تا به یک فرمول برای  $C_{min}$  در شرایط مختلف بارگیری و سرعت برسد. در این روش ابتدا قسمت حقیقی ادمیتانس دیده شده از دو سر خازن شنت مساوی صفر قرار داده شده و معادله‌ای درجه ۴ برحسب فرکانس پریونیت به دست آورده می‌شود. این معادله ۴ ریشه دارد که فقط ریشه‌های مثبت-حقیقی معنای فیزیکی دارند. اگر هیچ ریشه مثبت-حقیقی وجود نداشته باشد در این صورت پدیده خودتحریکی صورت نمی‌گیرد. سپس از قسمت موهومی ادمیتانس فرمولی ساده برای  $C_{min}$  به دست می‌آید. هر چند با استفاده از کلیه روش‌های بالا و داشتن پارامترهای ماشین و سرعت می‌توان  $C_{min}$  را بدست آورد، ولی مشابه روش‌های آنالیز حالت دائم، این روش‌ها نیاز به محاسبات جبری طولانی داشته و احتمال خطا در به دست آوردن ضرایب معادلات مورد نیاز زیاد است. با توجه به قسمت‌های ۲ و ۳ احتیاج به روشی که از یک طرف از کلیت و جامعیت لازم برخوردار بوده و قابل اعمال به شرایط مختلف بارگیری از جمله بارگیری R-C و جبران‌سازی سری باشد و از طرف دیگر نیاز به محاسبات جبری طولانی و پیچیده را رفع نماید احساس می‌شود.

#### ۴- روش پیشنهادی:

با نگاهی به روش‌های قبلی می‌توان مشاهده نمود که در روش امپدانس حلقه عمدتاً نیاز به حل دو معادله

همزمان غیرخطی است ولی در روش ادمیتانس گره امکان تفکیک<sup>۱</sup> دو پارامتر مجهول از یکدیگر وجود دارد. در نتیجه در روش پیشنهادی از متد ادمیتانس گره استفاده خواهیم کرد.

#### ۴-۱- تحلیل مدار معادل: فرض کنید بخواهیم با

داشتن پارامترهای ماشین (غیر از  $X_m$ ) سرعت و مقدار خازن تحریک به تحلیل مدار معادل پرداخته و فرکانس و راکتانس مغناطیس کنندگی را به دست آوریم. ابتدا یادآوری می‌کنیم که اگر از دو سر شاخه شنت به مدار نگاه کنیم

$$\text{طبق KCL داریم: } Y_{net} V_m = 0 \quad (۵)$$

که  $Y_{net}$  کل ادمیتانس دیده شده از دو سر شاخه شنت و  $V_m$  ولتاژ شاخه شنت است. برای ساخت ولتاژ باید  $V_m \neq 0$  باشد در نتیجه:  $Y_{net} = 0$  (۶) و یا  $g_{net} = 0$  (۷) و  $b_{net} = 0$  (۸) که  $b_{net}$  و  $g_{net}$  به ترتیب کاندوکتانس و سوسپیتانس دیده شده از دو سر شاخه شنت هستند. در این صورت مقدار  $a$  را از کسری از  $b$  (مثلاً  $b/۰.۶$ ) تا نزدیکی  $b$  (مثلاً  $۰.۹۹۹b$ ) با گام مشخص تغییر داده و در هر مرحله  $g_{net}$  را به دست آورده و در ماتریسی ذخیره می‌کنیم. بدین منظور محاسبات ذیل را انجام می‌دهیم:

$$Z_{rot} = jX_2 + \frac{R_2}{a-b} \quad (۹)$$

$$Y_{rot} = \frac{1}{Z_{rot}} \quad (۱۰) \quad , \quad g_{rot} = \text{real}(Y_{rot})$$

(۱۲)

$$Z_l = \frac{R_{load}}{a} + jX_{load}$$

<sup>۱</sup> Decoupling

نخواهد شد. مشابه قسمت ۴-۱ طبق KCL باید

$$Y_c \frac{V_t}{a} = 0 \quad \text{باشد که } Y_c \text{ کل ادمیتانس دیده شده از دو}$$

سر خازن شنت و  $\frac{V_t}{a}$  ولتاژ دو سر خازن شنت است.

برای ساخت ولتاژ باید  $\frac{V_t}{a} \neq 0$  باشد در نتیجه

$$Y_c = 0 \quad (۲۳) \quad \text{و یا } g_c = 0 \quad (۲۴) \quad \text{و } b_c = 0 \quad (۲۵) \text{ که}$$

$g_c$  و  $b_c$  به ترتیب کندوکتانس و سوسپتانس دیده شده از دو سر شاخه خازن شنت هستند.

در این صورت مقدار  $a$  را از کسری از  $b$  تا نزدیکی  $b$  با گام مشخص تغییر داده و در هر مرحله  $g_c$  را به دست آورده و در ماتریسی ذخیره می‌کنیم. بدین منظور محاسبات ذیل را انجام می‌دهیم:

$$Z_{rot} = jX_2 + \frac{R_2}{a-b} \quad (۲۶)$$

$$Z_{phi} = Z_{rot} \parallel jX_m \quad (۲۷)$$

$$Z_t = \frac{R_1}{a} + jX_1 + Z_{phi} \quad (۲۸)$$

$$g_t = \text{real}(Y_t) \quad (۳۰) \quad , \quad Y_t = \frac{1}{Z_t} \quad (۲۹)$$

$$Z_{load} = \frac{R_{load}}{a} + jX_{load} \quad (۳۱)$$

$$Y_{load} = \frac{1}{Z_{load}} \quad (۳۲) \quad , \quad (۳۳)$$

$$g_{load} = \text{real}(Y_{load})$$

پس از به دست آوردن  $g_t$  و  $g_{load}$  می‌توان  $g_c$  را

$$g_c = g_{load} + g_t \quad (۳۴) \quad \text{از جمع آن دو به دست آورد:}$$

حال عضوی از  $g_c$  که قدر مطلق آن می‌نیم است

را در نظر گرفته و شماره ستون آن را در  $i$  ذخیره می-

$$\text{کنیم. } [answer, i] = \min(\text{abs}(g_c)) \quad (۳۵)$$

که  $answer$  می‌نیم قدر مطلق کندوکتانس شاخه

خازن شنت و  $i$  شماره ستون متناظر آن است. پس از

بدست آوردن  $i$  مقدار  $a$  متناظر آن را به دست می-

آوریم:  $\text{freq} = a(i)$  (۳۶) که  $\text{freq}$  فرکانس کار مانای

SEIG است. حال که فرکانس را به دست آورده‌ایم به

سادگی می‌توانیم با استفاده از روابط

$$b_{load} = \text{imag}(Y_{load}) \quad (۳۸), \quad b_t = \text{imag}(Y_t) \quad (۳۷)$$

$$(۱۳)$$

$$Z_c = Z_t \parallel -jX_c$$

$$(۱۴)$$

$$Z_{stat} = \frac{R_1}{a} + jX_1 + Z_c$$

$$Y_{stat} = \frac{1}{Z_{stat}} \quad (۱۵)$$

$$g_{stat} = \text{real}(Y_{stat})$$

پس از محاسبه کندوکتانس روتور و استاتور )

$g_{stat}$  و  $g_{rot}$  می‌توان کل کندوکتانس دیده شده

$g_{net}$  را از جمع آن دو به دست آورد:

$$g_{net} = g_{stat} + g_{rot} \quad (۱۷)$$

همان‌طور که ذکر شد طبق KCL باید  $g_{net} = 0$

باشد ولی چون  $a$  را پله پله تغییر می‌دهیم امکان این وجود

دارد که هیچ یک از اعضای  $g_{net}$  صفر نباشند. در نتیجه

برای برنامه‌ریزی کامپیوتری از دستور  $\min$  در Matlab

استفاده کرده و اندیس عضوی از  $g_{net}$  که می‌نیم است

را به دست می‌آوریم:

$$[answer, i] = \min(\text{abs}(g_{net})) \quad (۱۸)$$

می‌نیم قدر مطلق کندوکتانس شاخه شنت و  $i$  شماره

ستون متناظر آن است. پس از به دست آوردن  $i$  مقدار  $a$

$$\text{freq} = a(i) \quad (۱۹): \text{آوریم}$$

که  $\text{freq}$  فرکانس کار مانای SEIG است. حال که

فرکانس را به دست آورده‌ایم به سادگی می‌توانیم با استفاده

از روابط

$$b_{rot} = \text{imag}(Y_{rot})$$

$$b_{stat} = \text{imag}(Y_{stat}) \quad (۲۱), \quad (۲۲)$$

$$X_m = \frac{1}{b_{rot} + b_{stat}}$$

مقدار  $X_m$  را به دست آوریم. یادآوری می‌شود که

با توجه به قابلیت فیزیکی هسته باید:

$$0 < X_m < X_{m,max}$$

باشد و در غیر اینصورت ولتاژی تولید نخواهد شد.

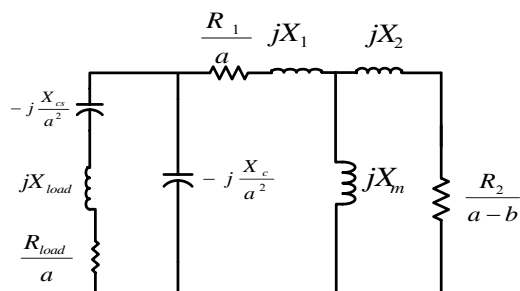
۴-۲- محاسبه  $C_{min}$ : فرض کنید بخواهیم با

داشتن پارامترهای ماشین و سرعت، مقدار می‌نیم خازن

مورد نیاز را به دست آوریم. این محاسبه- همان‌طور که

ذکر شد- از آن جهت دارای اهمیت است که اگر مقدار

کاپاسیتانس خازن از این مقدار کمتر باشد ولتاژی تولید



شکل (۳): مدار معادل بر فاز SEIG با جبران‌سازی کوتاه

اگر برای تحلیل مدار معادل SEIG با جبران‌سازی سری بخواهیم از روش حلقه استفاده کنیم ضرایب معادلات غیرخطی به دلیل وجود راکتانس خازنی  $-\frac{X_{cs}}{a^2}$  بسیار پیچیده خواهد شد. همچنین در روش ادمیتانس گره هم درجه معادله چندجمله‌ای برحسب  $a$  از ۷ (برای بارهای R-L) به ۹ افزایش خواهد یافت [۳]. از این رو آقای Chan روش تکراری خود را به SEIG با جبران‌سازی سری توسعه می‌دهد [۳]. هرگاه بخواهیم با استفاده از روش پیشنهادی مبادرت به تحلیل SEIG با جبران‌سازی سری کنیم کافی است در جبران‌سازی بلند به جای رابطه (۱۴) قرار دهیم:

$$Z_{stat} = \frac{R_1}{a} + jX_1 + Z_c - j\frac{X_{cs}}{a^2} \quad (41)$$

و در جبران‌سازی کوتاه به جای رابطه (۱۲) قرار

$$Z_l = \frac{R_{load}}{a} + jX_{load} - j\frac{X_{cs}}{a^2} \quad (42)$$

مابقی تحلیل و روش به دست آوردن فرکانس مشابه حالت قبل بوده و  $X_m$  هم به سادگی از صفر قرار دادن سوسپتانس دیده شده از دو سر شاخه شنت به دست می‌آید.

#### ۴-۴ - تحلیل SEIG با بار R-C: هر چند وجود

مصرف کننده R-C در عمل نادر است، اما تحلیل SEIG با بار R-C به بسط مفاهیم موجود در روش پیشنهادی کمک خواهد کرد.

به این منظور مدار معادل مورد استفاده در این تحلیل در شکل (۴) نشان داده شده است:

$$X_c = \frac{1}{b_l + b_{load}} a^2 \quad (39)$$

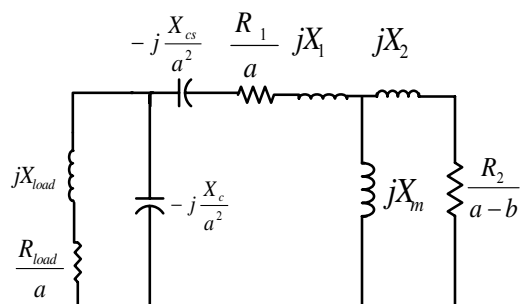
$$C_{min} = \frac{1}{2\pi f X_c} \quad (40)$$

مقدار می‌نیمم ظرفیت خازنی مورد نیاز را به دست آوریم. در رابطه آخر  $f$  معرف فرکانس پایه است که مقدار  $X_c$  در آن محاسبه شده است.

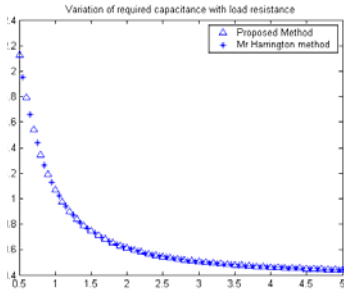
#### ۴-۳ - جبران‌سازی سری: ژنراتور القایی

خودتحریک در ساده‌ترین حالت خود رگولاسیون ولتاژی ضعیف‌تر (بالتر) از ژنراتور سنکرون هم توان خود دارد. این بدان دلیل است که از آن جا که راکتانس خازنی به طور معکوس متناسب با فرکانس تولید شده است، شیب مشخصه ولتاژ برحسب جریان  $(v-i)$  با سرعت متغیر است. هنگام بارگیری از SEIG فرکانس تولید شده حتی با فرض ثابت ماندن سرعت روتور کوچکتر شده و راکتانس خازنی بزرگتر خواهد شد.

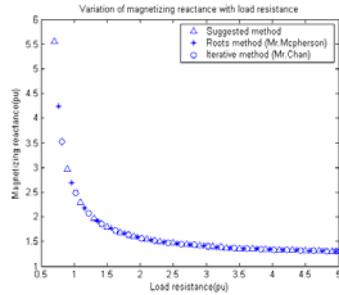
در نتیجه شیب مشخصه  $(v-i)$  افزایش یافته و ولتاژ قلب ماشین (ولتاژ بی‌باری) کاهش خواهد یافت [۹و۱]. این در حالی است که در ژنراتور سنکرون با بارگیری از ژنراتور ولتاژ قلب ماشین  $(E_{af})$  به فرض ثابت ماندن  $I_f$  و سرعت روتور ثابت می‌ماند. روش جبران‌سازی سری یک روش کارا و در عین حال ساده (برخلاف روش‌های استفاده از الکترونیک قدرت) است که با استفاده از فیدبک منفی باعث می‌شود پروفایل ولتاژ به مسطح بودن نزدیک شود. بدین معنی که با بارگیری از SEIG ولتاژ ترمینال به طور طبیعی میل به کاهش دارد ولی افزایش جریان عبوری از خازن سری و به تبع آن افزایش توان راکتیو تولیدی آن به پایداری و ثبات ولتاژ کمک خواهد کرد. جبران‌سازی سری می‌تواند به دو شکل بلند و کوتاه مطرح شود. مدارهای متناظر در شکل‌های (۳،۲) آمده است.



شکل (۲): مدار معادل بر فاز SEIG با جبران‌سازی بلند

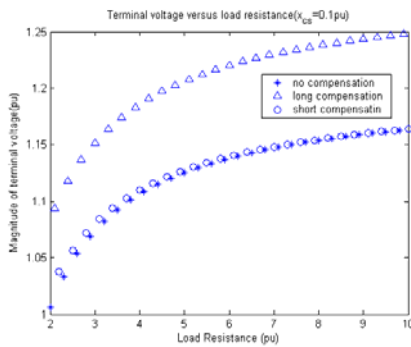


شکل (۶): منحنی تغییرات خازن مورد نیاز با مقاومت بار



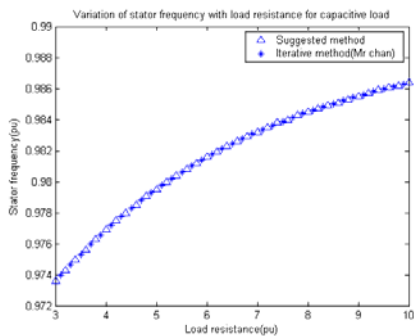
شکل (۷): منحنی تغییرات راکتانس مغناطیس

کنندگی با مقاومت بار



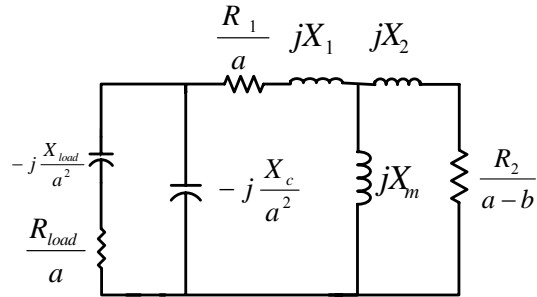
شکل (۸): پروفایل ولتاژ در حالت با جبران سازی و

بدون آن



شکل (۹): تغییرات فرکانس با مقاومت بار در حالت

R-C



شکل (۴): مدار معادل بر فاز SEIG با بار R-C

در این صورت کافی است به جای رابطه (۱۲) قرار

$$Z_l = \frac{R_{load}}{a} - j \frac{X_{load}}{a^2} \quad (۴۳) \quad \text{دهیم:}$$

لازم به ذکر است که اگر چه آقای Chan در [۳] ذکری از بار R-C نکرده‌اند ولی روش ایشان قابل تعمیم به بارهای R-C نیز هست.

۵- نتایج شبیه‌سازی:

ماشین مورد استفاده در شبیه‌سازی به شرح زیر

است [۳]:

۳ فاز، ۴ قطب،  $380^V$ ،  $5/4^A$  قفس سنجابی با

پارامترهای بر فاز بر حسب پریونیت:

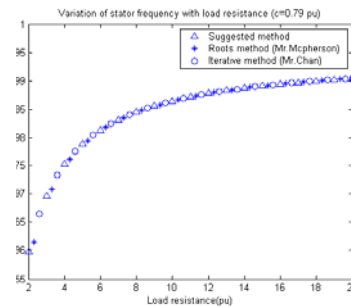
$$R_1 = 0.1, X_1 = 0.112, R_2 = 0.0736, X_2 = 0.10$$

$X_2 =$

منحنی مغناطیس شوندگی ( $E_\phi$  بر حسب  $X_m$ )

اینگونه به طور قطعه‌ای خطی شده است:

$$E_\phi = \begin{cases} 1.345 - 0.20X_m, & X_m < 1.728 \\ 1.901 - 0.525X_m, & 1.728 \leq X_m < 2.259 \\ 3.156 - 1.08X_m, & 2.259 \leq X_m < 2.446 \\ 37.79 - 15.12X_m, & 2.446 \leq X_m < 2.48 \\ 0, & X_m \leq 2.48 \end{cases}$$

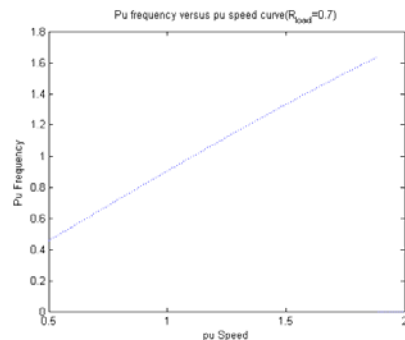


شکل (۵): منحنی تغییرات فرکانس استاتور با مقاومت بار

Conversion, Vol.8, No.2, pp.304-311, June 1993.

[7] A.M. Eltamaly, "New formula to determine the minimum capacitance required for self-excited induction generator", Power Electronics Specialists Conference, Volume 1, pp.106 – 110, June 2002.

[8] R.J. Harrington and F.M.M Bassiouny, "New insights for capacitance requirements for isolated induction generators", Energy Conversion Engineering Conference, Volume 3, pp.1738 – 1743, 27 July-1 Aug. 1997.



شکل (۱۰): تغییرات فرکانس با سرعت

نتیجه گیری

در این مقاله روشی جدید برای بررسی رفتار حالت دائم ژنراتور القایی سه فاز خودتحریک ارائه شد. به کمک این روش همچنین می توان مینیمم مقدار خازن مورد نیاز برای خود تحریکی را به دست آورد. سادگی روش و بی-نیازی از محاسبات جبری پیچیده از جمله مزایای این روش است. نتایج شبیه سازی کامپیوتری، توافق این روش را با روش های متداول دیگر نشان می دهند.

مراجع:

[1] N.H. malik and S.E. Hague, "Steady State Analysis and Performance of an Isolated Self-Excited Induction Generator", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. Ec1, No.3, pp.134-139, September 1986.

[2] L. Quazene and G. Mcpherson, Jr, "Analysis of the Isolated Induction Generator", IEEE Trans. on P.A.S, Vol. Pas 102, No 8, pp.2793-2798.

[3] T.F. Chan, "Analysis of Self-Excited Induction Generator Using an Iterative method", IEEE Trans. on Energy conversion, Vol. 10, No.3, pp.502-507, September 1995.

[4] N.H. Malik and A.A. Mazi, "Capacitance requirements for isolated self excited induction generators", IEEE trans on Energy Conversion, vol. Ec-2, No. 1, pp.62-68, March 1987.

[5] A.K. Al Jabri and A.I. Alolah, "Capacitance requirement for isolated self-excited induction generator", IEE Proc, Vol. 137, pt. B, No.3, pp.154-159, May 1990.

[6] T.F. Chan, "Capacitance requirements for self-excited induction generators", IEEE Trans. on Energy