

آموزش نرم افزار PSCAD /EMTDC

www.simpowersystem.blog.ir

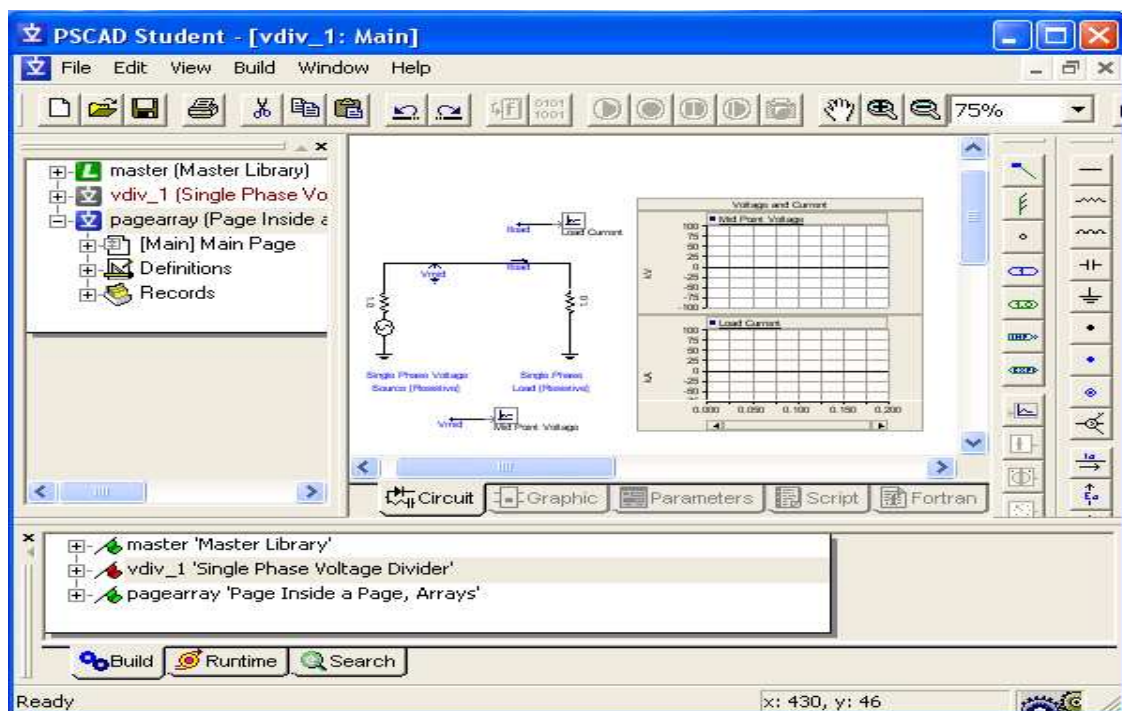
**MATLAB®
& SIMULINK®**

 **The MathWorks™**
Accelerating the pace of engineering and science

برای شبیه سازی سیستم قدرت در این پروژه از نرم افزار PSCAD/ EMTDC استفاده شده است. این نرم افزار، قادر به شبیه سازی نرم حالت پایدار، گذرا و دینامیکی سیستم های قدرت می باشد. اولین ویرایش این نرم افزار در سال 1976 میلادی، توسط آقای دنیس در دانشگاه مانیتوبای کانادا نوشته شد که امروزه مدل های پیشرفته تر آن موجود می باشد که در این پروژه از ویرایش چهارم آن استفاده شده است.

امروزه با توجه به سادگی ارتباط کاربر با نرم افزار فوق و توانایی های بالای آن در شبیه سازی رفتار سیستم های قدرت، از این نرم افزار در شبیه سازیهای سیستم قدرت به وفور استفاده می شود. همان طور که در شکل (1-1) مشاهده می شود محیط کار این نرم افزار شامل چهار قسمت:

منوی اصلی، پنجره Work space، پنجره Out put window و پنجره Design editor می باشد.

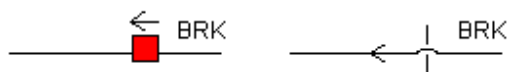


شکل (1-1): محیط کار نرم افزار PSCAD /EMTDC

1-3-1: تشریح عناصر و مدل های مختلف به کار رفته در شبیه سازی

1-3-1-1: بریکرها

کلید های قدرت برای قطع و وصل بار به کار برده می شوند. بریکر ها در نرم افزار PSCAD به عنوان مدل کلید ها انتخاب شده اند و مدل سازی آنها توسط دو مقاومت صورت می گیرد. در حالت وصل یک مقاومت بسیار کوچک ، به عنوان مدل کلید انتخاب شده و در حالت قطع، کلید با یک مقاومت بسیار بزرگ مدل شده است. مقدار این مقاومت ها به همراه حالت اولیه کلید در پنجره مربوطه مشخص می شود.



1 phase breaker

شکل (۱-۲) : نمایش بریکر تکفاز

کنترل این کلیدها می تواند هم به صورت اتوماتیک و هم به صورت دستی انجام بگیرد. در حالت کنترل دستی، بریکر از طریق یک پنل کنترل می شود و در حالت کنترل اتوماتیک کنترل کلید از طریق یک بلوک منطق زمانی مخصوص بریکر انجام می گیرد. اطلاعات مشخص شده برای بریکر ها:

با کلیک راست بر روی بلوک بریکر و انتخاب گزینه ی Configuration پنجره ای باز خواهد شد که در آن، اطلاعاتی از جمله نام بریکر و حالت نمایشی آن از کاربر خواسته می شود. مقدار مقاومت حالت قطع و وصل کلید از طریق پنجره ی Breaker main data قابل تغییر است.

به طور پیش فرض مقاومت حالت قطع و وصل کلید برابر: $1 * 10^6$ و $5 * 10^{-3}$ اهم در نظر گرفته شده است.

1-3-1-2: بلوک منطق زمانی بریکر

این بلوک مخصوصا برای کنترل اتوماتیک عملکرد بریکر های تکفاز و سه فاز به کار می رود و خروجی آن حتما باید به یک نقطه بر چسب دار وصل شود.

1-3-1-3: اسکوپ

این بلوک مشابه یک اسکوپ آزمایشگاهی عمل می کند که می توان با آن مقادیر و شکل موج های مورد نظر را مشاهده نمود. برای این منظور باید موج مورد نظر را از طریق یک نقطه بر چسب دار، به اسکوپ متصل نمود.

با کلیک راست بر روی اسکوپ پنجره ای باز می شود که می توان تنظیمات اسکوپ را در داخل آن انجام داد. تنظیماتی از قبیل عنوان، واحد نمایش مقدار موج و بالاخره، حد بالا و پایین نمایش اسکوپ در این پنجره قابل تنظیم است.

1-3-1-4: آمپر متر

از این بلوک جهت سنجش جریان عبوری از یک مدار استفاده می شود. بدین منظور این بلوک بطور سری با مدار مورد نظر قرار داده شده و نقطه بر چسب دار هم نامی با آمپر متر به اسکوپ وصل می شود.

1-3-1-5: ولت متر

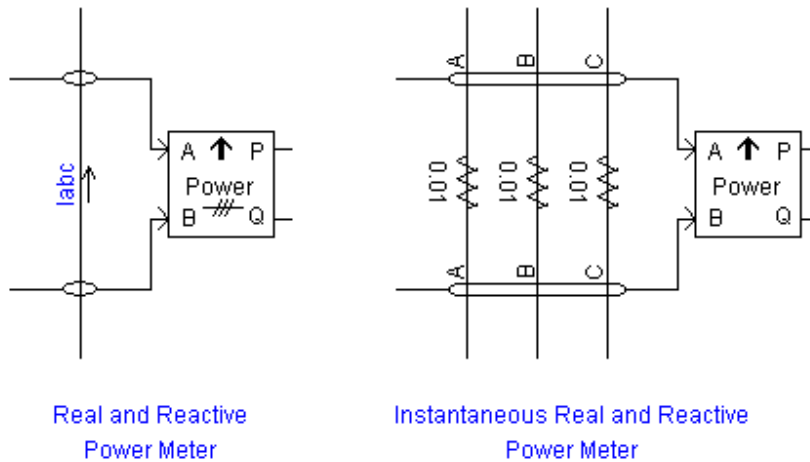
از این بلوک جهت سنجش ولتاژ دو نقطه نسبت به هم در یک مدار استفاده می شود. بدین منظور این بلوک بطور موازی با دو نقطه مورد نظر قرار داده شده و نقطه بر چسب دار هم نامی با ولت متر به اسکوپ وصل می شود.

1-3-1-6: ولت متر موثر سنج سه فازه

این بلوک جهت سنجش مقدار موثر ولتاژ بین فازها بکار می رود.

1-3-1-7: بلوک توان سنج

این بلوک جهت سنجش و نمایش توان اکتیو و راکتیو جاری در یک مدار به کار می رود. کار برد آن در مدار به این صورت است که آمپر متر یا مقاومت بلوک را به صورت سری با مدار نظر قرار داده شده و با تعیین جهت پیکان روی بلوک جهت توان اندازه گیری شده معلوم می شود.



شکل (1-۳): نمایش بلوک توان سنج در PSCAD

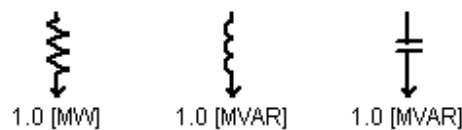
1-3-2: بارهای مورد استفاده در نرم افزار PSCAD

1-3-2-1: بار های تکفاز

این دسته شامل انواع المان های تکفاز رایج در مدار می باشد. با کلیک راست بر روی این المان ها، پنجره ای باز شده و مقدار مورد نظر برای این المان ها از کاربر در خواست می شود.

1-3-2-2: بار های سه فازه

این دسته شامل سه نوع خاص از بار سه فاز یعنی بار مقاومتی، اهمی و خازنی خالص می باشد.



3 phase loads
(Resistive, Inductive and Capacitive)

شکل (1-۴): نمایش بار های سه فازه

با کلیک راست بر روی ترکیب بار سه فازه، پنجره مشخصات آن به باز شده که در آن به ترتیب توان کل بار سه فازه بر حسب مگا وات یا مگا وار، ولتاژ خط به خط بار بر حسب کیلو ولت، فرکانس و در نهایت نوع اتصال بار (ستاره یا مثلث) از کاربر خواسته می شود.

1-3-2-3: بار ثابت

این بار، نوع خاصی از بار سه فازه بوده که می تواند ترکیبی از بار اهمی، سلفی و خازنی باشد (شکل 1-6). در پنجره مشخصات آن مقدار توان اکتیو و راکتیو بار به ترتیب بر حسب مگا وات و مگا وار بر هر فاز، از کاربر خواسته می شود. هم چنین ولتاژ بر فاز موثر این بار بر حسب کیلو ولت و فرکانس نامی آن در این پنجره قابل تنظیم است.

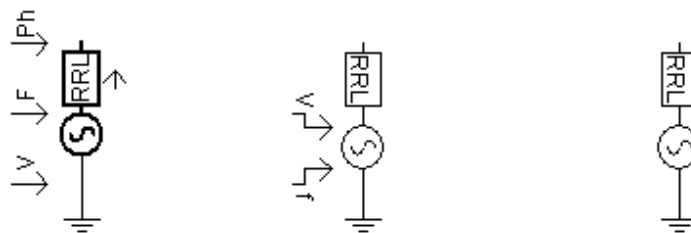


Fixed Load

شکل (1-5): نمایش بار سه فاز ثابت در PSCAD

1-3-3: منبع ولتاژ

منابع ولتاژ موجود در نرم افزار PSCAD که می توان در برنامه ها از آن ها استفاده کرد هم در نوع تکفاز و هم در نوع سه فاز موجود می باشند.

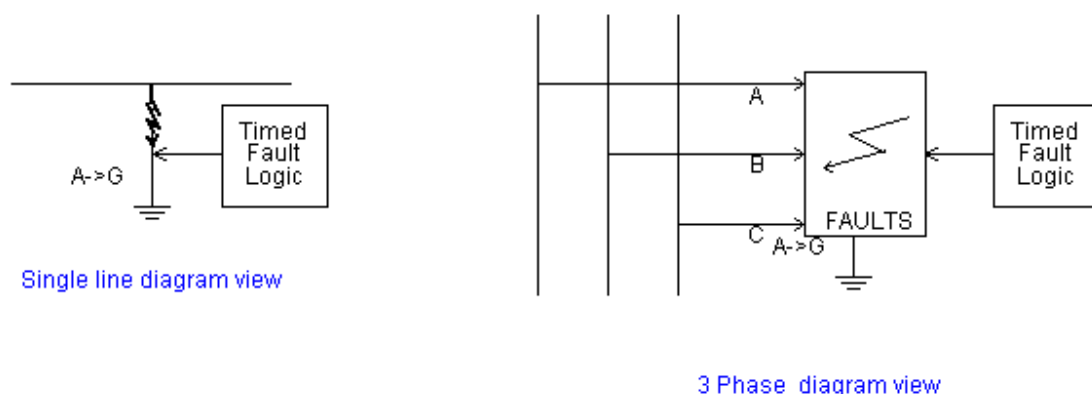


شکل (1-6): منابع ولتاژ در نرم افزار PSCAD

با کلیک راست بر روی بلوک منبع ولتاژ، پنجره مشخصات باز شده و در آن مشخصات منبع از قبیل نام منبع، نوع امپدانس داخلی منبع، روش کنترل ولتاژ و فرکانس منبع که می تواند از نوع داخلی یا خارجی باشد، متناوب یا مستقیم بودن نوع ولتاژ منبع قابل تنظیم است. مشخصات اصلی منبع شامل اندازه ولتاژ، مقدار فرکانس و فاز اولیه ی موج ولتاژ در پنجره ی signal parameters قابل تنظیم است.

1-3-4: بلوک خطا

از این بلوک برای شبیه سازی و ایجاد انواع خطا های موجود در مدارات AC استفاده می شود.



شکل (1-7): بلوک خطا در نرم افزار PSCAD

توسط این بلوک می توان خطاهای زیر را شبیه سازی کرد:

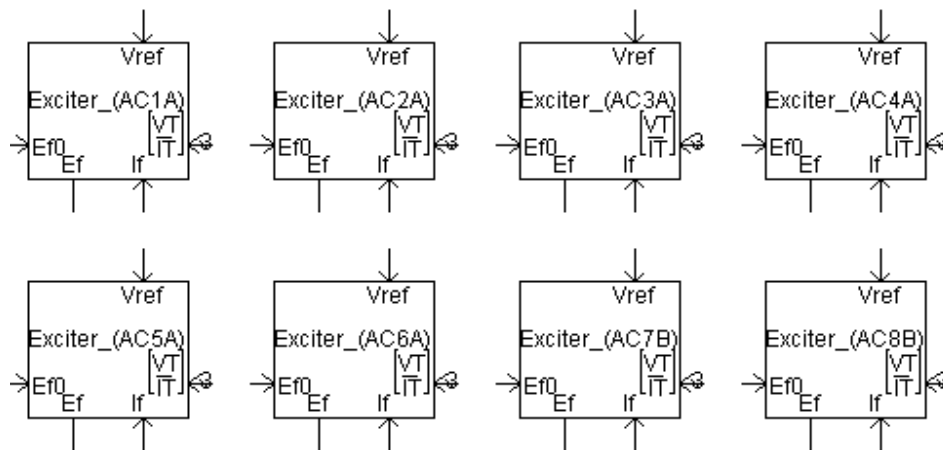
خطای تک فاز به زمین، خطای دو فاز به هم، خطای دو فاز به زمین، خطای سه فاز به هم و خطای سه فاز به هم و به زمین. با کلیک راست بر روی بلوک خطا، پنجره مشخصات آن باز شده و درحالت کنترل داخلی از گزینه ی Fault type، نوع خطای مورد نظر را می توان مشخص کرد. لازم به ذکر است که محدوده زمانی وقوع خطا به کمک یک تایمر مشخص می شود. در پنجره مشخصات تایمر زمان وقوع خطا و مدت برقراری آن قابل تنظیم است.

1-3-5: گراف

جهت ترسیم شکل موج های به دست آمده در شبیه سازی ها، از گراف استفاده می شود. گراف های موجود در نرم افزار PSCAD بر دو نوع هستند: گراف دیجیتال و گراف آنالوگ. در این پروژه تنها از گراف های آنالوگ استفاده شده است. مشخصات گراف از جمله حد بالا و پایین محور و درجه بندی آن در پنجره گراف قابل تنظیم است.

1-3-6: اکسایتر

این بلوک یک اکسایتر استاندارد IEEE را مدل می کند. همه پارامتر های ورودی بر حسب ثانیه یا بر حسب سیستم در واحد وارد می شوند. شکل (1-9) را ببینید.



شکل (۸-۱): مدل های اکسایتر

متغیرهای ورودی و خروجی به قرار زیرند.

ورودی ها

E_{fo} : این ورودی ولتاژ میدان ماشین را تعیین می کند. E_{fo} می تواند بوسیله کاربر یا در حالت وابسته به ژنراتور سنکرون بکار رود.

$[V_T / I_T]$: این ورودی یک آرایه سه درایه ای می باشد که اطلاعات خود را از ماشین سنکرون می گیرد. V_T ولتاژ موثر ترمینال است. I_T جریان ترمینال ماشین سنکرون است که مختلط می باشد.

V_s : این ورودی تنها با استفاده از اکسایتر به عنوان پایدار کننده سیستم قدرت فعال می گردد.

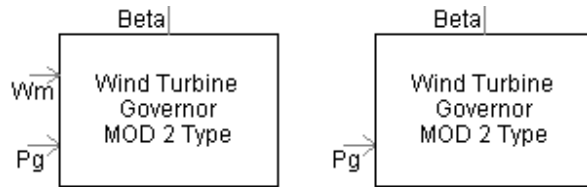
V_{ref} : این ورودی ولتاژ مرجع را برای ترمینال های ماشین سنکرون تعیین می کند. این مقدار می تواند بوسیله یک سری از اجزای مختلف ناشی گردد که شامل یک اسلایدر، اجزای ثابت حقیقی یا دیگر سیگنال ها می گردد.

خروجی ها

E_f : این خروجی ولتاژ میدان محاسبه شده برای ماشین سنکرون می باشد. V_{ref} : این خروجی یک مقدار محاسبه شده از ولتاژ مرجع V_{ref} می باشد.

۷-۳-۱: گاورنر توربین باد

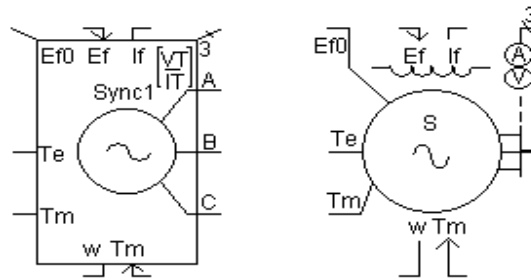
این بلوک وسیله ی مکانیکی تنظیم کننده ی زاویه شیب پره های توربین بادی را مدل می کند. سرعت مکانیکی ماشین (V_m) و توان خروجی ماشین (P_g) ورودی های این بلوک هستند. زاویه ی محاسبه شده برای شیب پره ها خروجی آن می باشد.



شکل (۹-۱): مدل گاورنر توربین بادی

۸-۳-۱: ماشین سنکرون

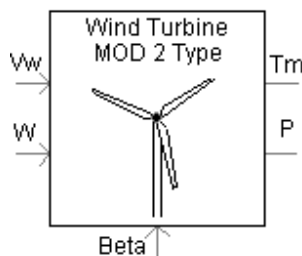
این بلوک شامل دو سیم پیچ میرا کننده در محور Q می باشد و از این رو می تواند هم به عنوان ماشین قطب برجسته و هم ماشین قطب صاف استفاده گردد. سرعت ماشین می تواند به وسیله اعمال یک مقدار مثبت به ورودی w ماشین یا استفاده از گشتاور مکانیکی به ورودی T_m کنترل گردد. گزینه های پیشرفته ی زیادی در این بلوک بکار رفته است تا یک ماشین سنکرون واقعی مدل شود. برای استفاده های عادی، پارامترهای پیشرفته می توانند نادیده گرفته شوند، بدون اینکه تغییری در عملکرد مورد انتظار ماشین ایجاد کنند. (شکل (۱۰-۱)).



شکل (۱۰-۱): مدل ماشین سنکرون

۹-۳-۱: توربین بادی

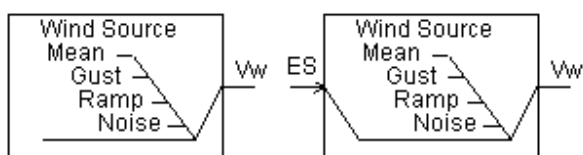
این بلوک یک توربین بادی را مدل می کند. ورودی های این بلوک v_w و سرعت مکانیکی ماشین w می باشند. β زاویه شیب پره های توربین است و بایستی به درجه وارد گردد. T_m و P به ترتیب گشتاور و توان خروجی در واحد بر اساس مقادیر نامی ماشین هستند.



شکل (۱-۱۱): مدل توربین بادی

ورودی ها: V_w : سرعت باد (یک مقدار مثبت)، W : سرعت مکانیکی ماشین، β : زاویه شیب پره ها
خروجی ها: T_m : گشتاور خروجی توربین، P : توان خروجی توربین
۱-۳-۱۰: منبع باد

این بلوک سرعت باد مورد نیاز یک توربین بادی را فراهم می کند.



شکل (۱-۱۲): مدل منبع باد

ورودی

E_s : سیگنال خروجی برای تنظیم سرعت باد

خروجی

V_w : سرعت باد مورد نیاز برای توربین

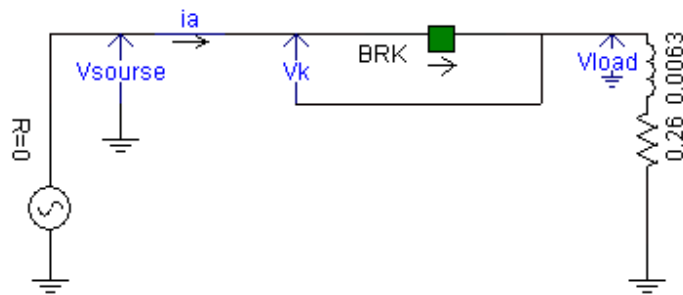
فصل دوم:

بررسی و شبیه سازی حالت های گذرا در مدارات تکفاز، سه فاز

2-1: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرا در مدارات تکفاز [۲۳]

2-1-1: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل مدار RL سری

مدار مورد مطالعه از یک مقاومت R که با یک اندوکتانس L، به طور سری قرار گرفته، تشکیل شده است. مقاومت و اندوکتانس منبع به صورت سری با مقاومت و اندوکتانس بار در نظر گرفته شده و با آن ترکیب شده اند. در نتیجه در مدار شبیه سازی شده، می توان منبع ولتاژ را به صورت ایده آل در نظر گرفت. هم چنین در این بررسی فرض بر آن است که قبل از زمان وصل مدار سلف بدون انرژی اولیه باشد. در عمل وصل این مدار موقعی پیش می آید که مدار یا شبکه ی اتصالی شده ای به شبکه تغذیه وصل شود. در این صورت بار در نظر گرفته شده می تواند نمایانگر امپدانس داخلی ژنراتور باشد. مدار مورد نظر در شکل (2-1) مشاهده می شود.



شکل (2-1): مدار RL با منبع سینوسی

با بستن کلید معادله دیفرانسیلی جریان عبوری از مدار به صورت زیر به دست می آید:

$$L \frac{di}{dt} + Ri = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad (2-1)$$

در رابطه ی (2-1)، θ اختلاف فاز لحظه ی وصل کلید با لحظه ای است که ولتاژ منبع از صفر عبور می کند. گنجاندن زاویه ی اختیاری θ اجازه ی وصل مدار را در هر لحظه ی دلخواه فراهم می کند.

با حل معادله (2-1) جریان مدار به صورت زیر به دست خواهد آمد:

$$i(t) = i_m \{ \sin(\omega t + \theta - \varphi) - \sin(\theta - \varphi) e^{-\frac{t}{\tau}} \} \quad (2-2)$$

در رابطه ی (2-2):

$$i_m \text{ مقدار حداکثر جریان مدار بوده و از رابطه ی } i_m = \frac{V_m}{|Z|} = \frac{V_m}{\sqrt{R^2 + (L^2 \omega^2)}}$$

$$\tau \text{ ثابت زمانی مدار و از رابطه ی } \tau = \frac{L}{R} \text{ به دست خواهد آمد.}$$

$$\varphi \text{ زاویه ی امپدانس بار بوده و از فرمول } \varphi = \tan^{-1} \frac{L\omega}{R} \text{ به دست می آید.}$$

لازم به ذکر است که در مدار مورد بررسی به علت وجود مقاومت R ، زاویه ی امپدانس بار از 90 درجه کوچکتر است.

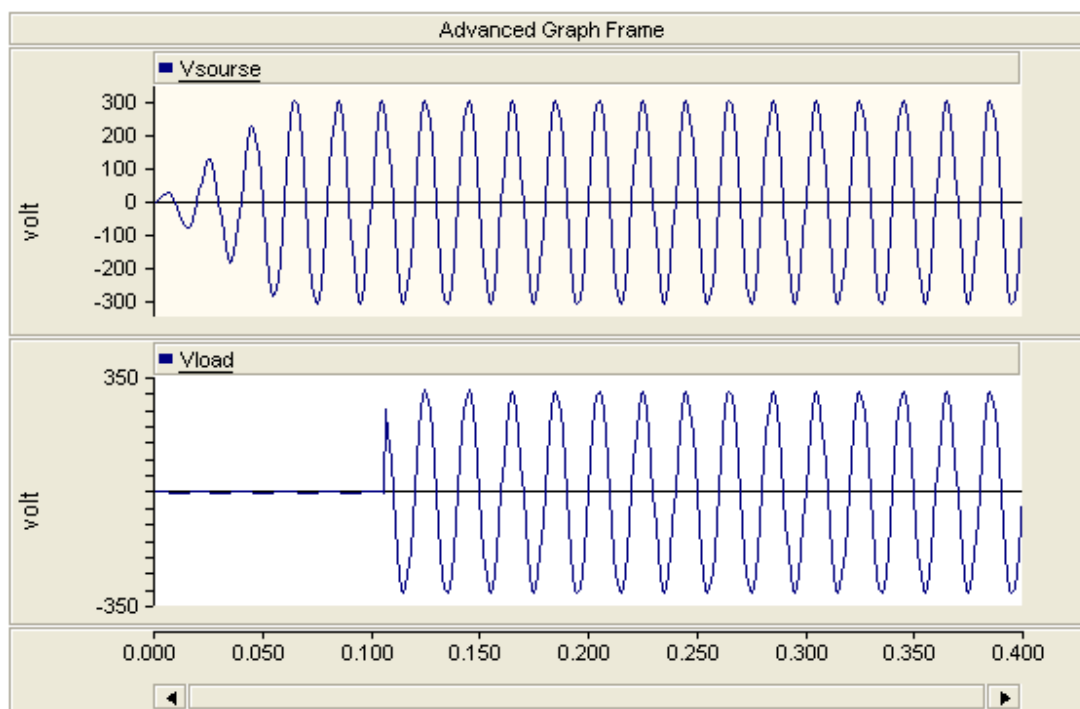
بر طبق رابطه ی (2-2) جریان مدار از دو قسمت تشکیل یافته است:

قسمت اول. یک جریان متناوب سینوسی با دامنه ی i_m که دارای زاویه ی فاز ی $(-\varphi)$ نسبت به ولتاژ منبع است. به این قسمت از جریان، مولفه ی پایدار یا ماندگار جریان گفته می شود.

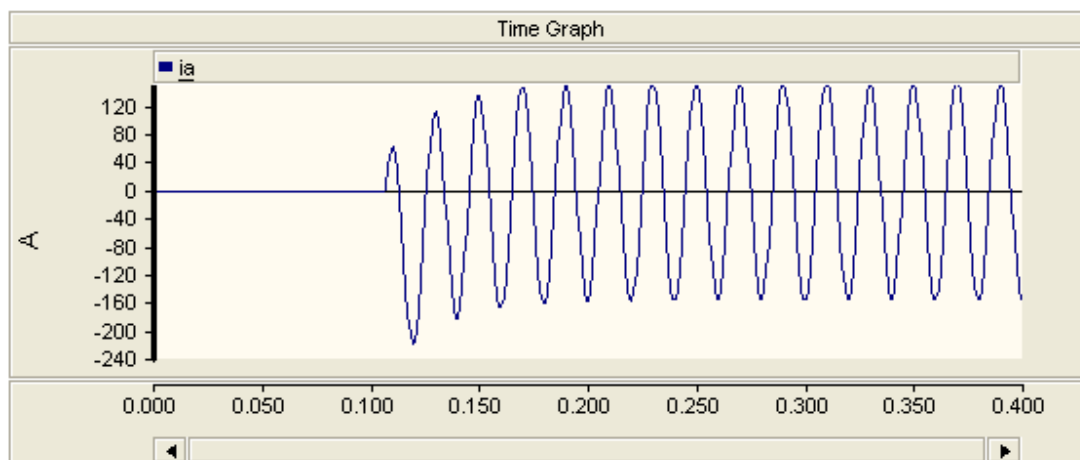
قسمت دوم. یک جریان dc که دامنه ی آن در لحظه ی وصل با دامنه ی جریان ماندگار برابر بوده ولی علامت آن مخالف علامت جریان ماندگار می باشد؛ لذا شروع جریان کلی مدار را از صفر تضمین میکند. هم چنین به علت وجود مقاومت اهمی در مدار، این قسمت از جریان با ثابت زمانی τ میرا می شود.

در شکل های (2-2) و (2-3) منحنی های ولتاژ منبع تغذیه، ولتاژ بار و جریان مدار به هنگام وصل مدار در لحظه ی $t=0/107$ s و به ازای مقادیر $R=0/26 \Omega$ و $L=6/3$ mH نشان داده شده است.

با توجه به این منحنی ها دامنه ی جریان حالت ماندگار مساوی 155 A، دامنه ی جریان حالت گذرا مساوی 216 A و مدت میرائی پاسخ گذرا ی مدار $t=5 \tau=0/12$ s می باشد.



شکل (2-2): ولتاژ منبع و ولتاژ بار طی وصل مدار RL



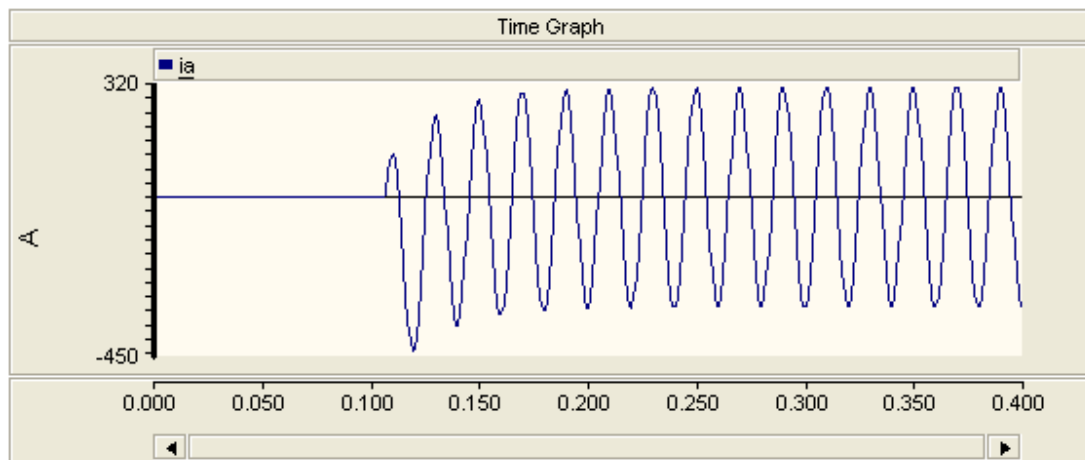
شکل (2-3): جریان بار طی وصل مدار RL

2-1-1-1: بررسی اثر تغییر مقادیر R و L بر منحنی جریان بار طی وصل مدار

به ازای ولتاژ ورودی ثابت، مقادیر R و L علاوه بر تعیین دامنه ی جریان حالت ماندگار، ضریب توان مدار و مدت زمان میراثی قسمت گذرای جریان را نیز تعیین میکنند. برای تغییر مقادیر R و L حالات متفاوتی می تواند در نظر گرفته شود.

2-1-1-1-1: تغییر مقادیر R و L و ثابت ماندن τ

اگر مقادیر R و L به نحوی تغییر پیدا کنند که مقدار $\tau = L/R$ ثابت بماند، ضریب توان مدار و اندازه ی جریان حالت ماندگار تغییر پیدا کرده ولی مدت زمان میراثی پاسخ گذرای جریان ثابت خواهد ماند. به عنوان نمونه اگر در مدار شکل (2-1)، تنها مقادیر R و L به صورت $R=0/13$ و $L=3/15$ mH تغییر پیدا کند، با وصل کلید در همان لحظه ی قبل یعنی $t=0/107$ s منحنی جریان به صورت شکل (2-4) به دست خواهد آمد.

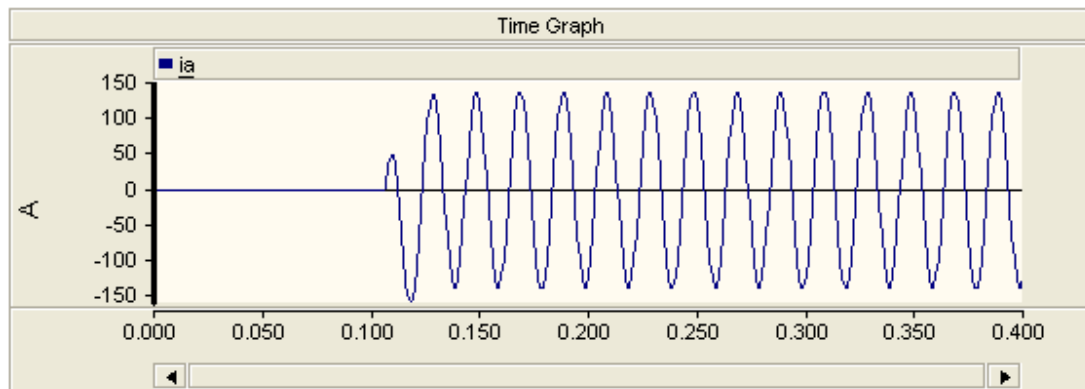


شکل (2-4): جریان مدار RL به ازای تغییر مقادیر R و L طی وصل مدار

با توجه به اینکه در این حالت امپدانس بار کاهش پیدا کرده است، دامنه ی جریان حالت ماندگار و هم دامنه ی جریان حالت گذرا افزایش می یابد. اما مدت میراثی پاسخ گذرا در همان مقدار قبلی یعنی $\tau=0/12$ s ثابت می ماند.

2-1-1-1-2: تغییر مقادیر R، L و τ

اگر مقادیر R و L طوری تغییر پیدا کنند که مقدار $\tau = L/R$ نیز تغییر پیدا کند، علاوه بر تغییر دامنه ی جریان حالت ماندگار و حالت گذرا، مدت زمان میراثی قسمت گذرای جریان مدار نیز تغییر پیدا خواهد کرد. در این قسمت تنها مقدار R چهار برابر می شود تا اثر آن بر رفتار جریان مدار مشاهده شود. سایر پارامترهای مدار ثابت در نظر گرفته شده است. منحنی جریان مدار در شکل (2-5) ملاحظه می شود.



شکل (2-5): جریان مدار RL به ازای تغییر مقدار R طی وصل مدار

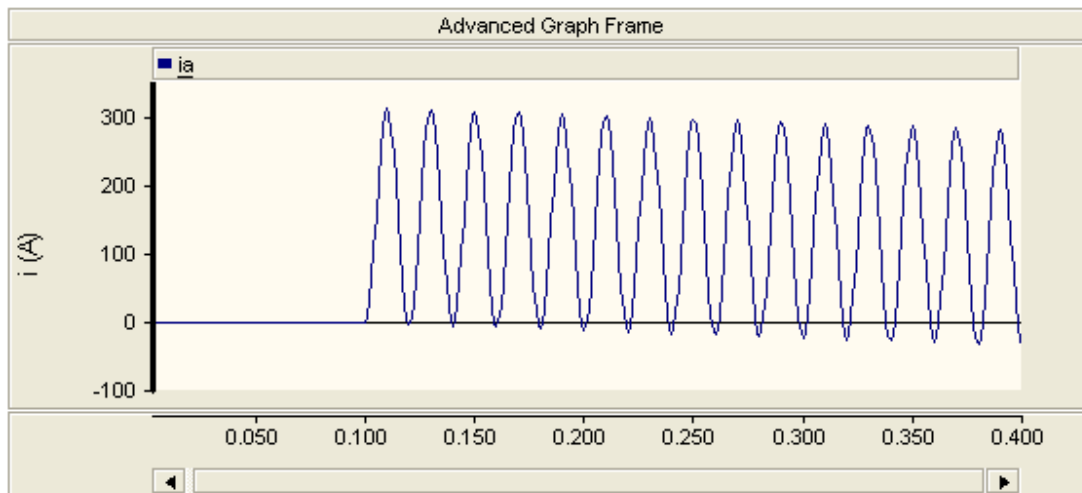
از منحنی بدست آمده واضح است که هم دامنه ی جریان حالت ماندگار و گذرا و هم مدت زمان میرایی پاسخ گذرا کاهش یافته است.

2-1-1-1-3: تغییر مقادیر R به صفر

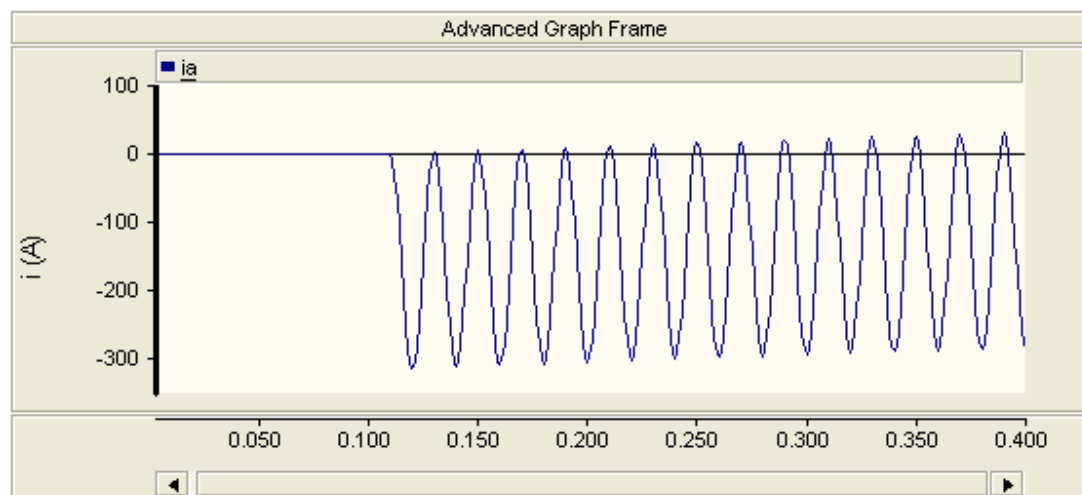
اگر مقدار مقاومت را مساوی صفر قرار داده، یعنی وصل مدار سلفی خالص به منبع در نظر گرفته شود، علاوه بر تغییر دامنه ی جریان حالت ماندگار و گذرا، مولفه ی DC جریان مدار، اصلا میرا نشده لذا حالت گذرای جریان نیز از بین نرفته و باقی می ماند.

به همین علت تقارن منحنی جریان نسبت به محور زمان به هم خورده و از محور منحرف میشود. مقدار انحراف منحنی جریان کل مدار، برابر مقدار مولفه ی DC جریان مدار است.

بیشترین مقدار برای مولفه ی DC جریان و در نتیجه بیشترین مقدار انحراف برای جریان کل مدار، که باعث می شود منحنی جریان کل، به طور کامل بالا یا پائین محور زمان ظاهر شود، برای لحظه ی وصلی است که ولتاژ منبع از مقدار صفر عبور می کند. در مدار شبیه سازی شده، به ازای لحظات وصل $t=0/1$ s و $t=0/11$ s به ترتیب منحنی های شکل های (2-6) و (2-7) برای جریان مدار به دست می آید.



شکل (2-6): جریان مدار RL به ازای مقدار $R=0$ و زمان وصل $t=0/1$ s



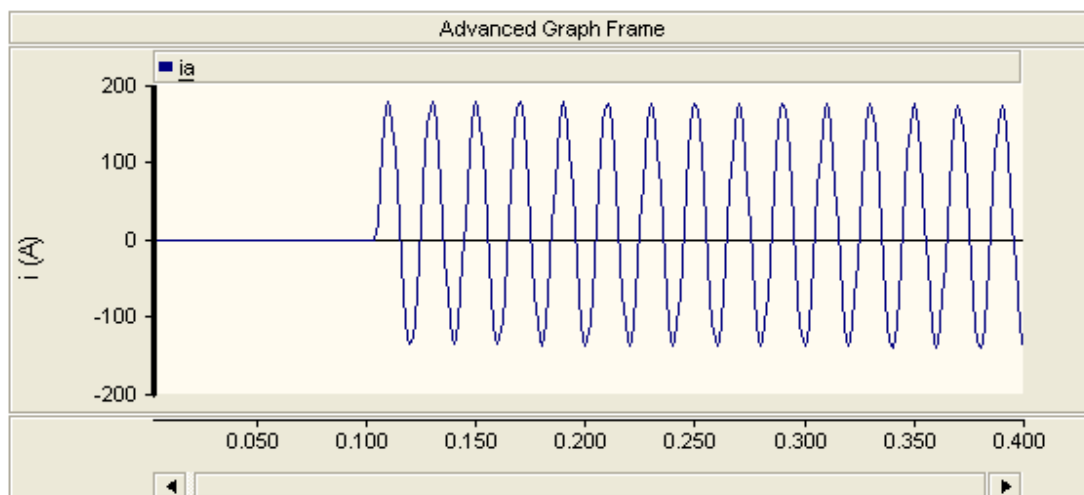
شکل (2-7): جریان مدار RL به ازای مقدار $R=0$ و زمان وصل $t=0/11$ s

در شکل (2-6) که به ازای لحظه ی وصل $t=0/1$ s به دست آمده است، مولفه ی ثابت جریان، مقداری مثبت بوده لذا منحنی جریان به طور کامل بالای محور زمان واقع می شود.

ولی در شکل (2-7) که به ازای لحظه ی وصل $t=0/11$ s به دست آمده است، مولفه ی ثابت جریان، مقداری منفی بوده لذا منحنی جریان به طور کامل پائین محور زمان واقع می شود.

در این حالت اگر لحظه ی وصل لحظه ی عبور ولتاژ منبع از مقدار ماکزیمم انتخاب شود، مولفه ی ثابت جریان صفر شده و جریان بدون سپری کردن حالت گذرای به حالت ماندگار رسیده و تقارن خود را نسبت به محور

زمان حفظ خواهد کرد. در مدار فوق این لحظه، زمان $t=0 / 104586 \text{ s}$ می باشد. شکل (2-8)، منحنی جریان را برای این لحظه نشان می دهد.



شکل (2-8): منحنی جریان مدار RL به ازای مقدار $R=0$ وقتی فاقد قسمت گذرا است.

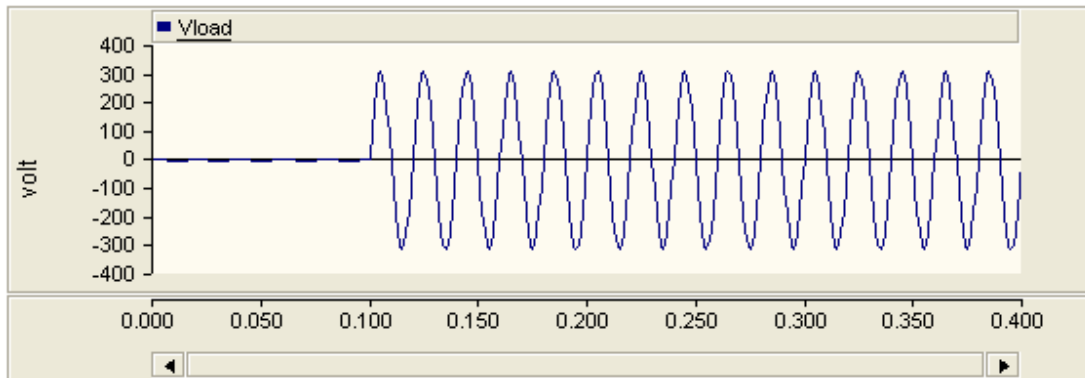
هم چنین در این حالت خاص برای سایر زمان های وصل کلید، مقدار مولفه ی ثابت جریان بین دو مقدار کمینه و بیشینه ی ذکر شده تغییر پیدا کرده، در نتیجه انحراف منحنی جریان کل مدار به همان اندازه صورت می گیرد.

2-1-1-2: بررسی اثر تغییر زمان وصل کلید بر منحنی های ولتاژ و جریان بار

اگر در مدار اصلی مورد بحث یعنی مدار شکل (1-2)، تنها زمان وصل کلید تغییر کرده و سایر مشخصات و پارامترهای مدار ثابت بماند، ملاحظه خواهد شد که مانند قسمت های قبلی، ولتاژ منبع بدون هیچ تغییری در دو سر بار ظاهر شده، در نتیجه ولتاژ بار فاقد قسمت گذرا می باشد. شکل (2-9) ملاحظه شود. اما منحنی جریان بار از مقدار صفر در لحظه ی وصل شروع شده و با طی حالت گذرا به حالت ماندگار خود خواهد رسید. در این حالت هم دامنه ی مولفه ی ماندگار وهم مدت زمان میرایی مولفه ی گذرای جریان ثابت مانده، در نتیجه تغییر لحظه ی وصل مدار، تنها بر مقدار دامنه ی جریان حالت گذرا تاثیر خواهد گذارد. در این قسمت نیز حالات متفاوتی برای لحظه ی وصل مدار می تواند در نظر گرفته شود.

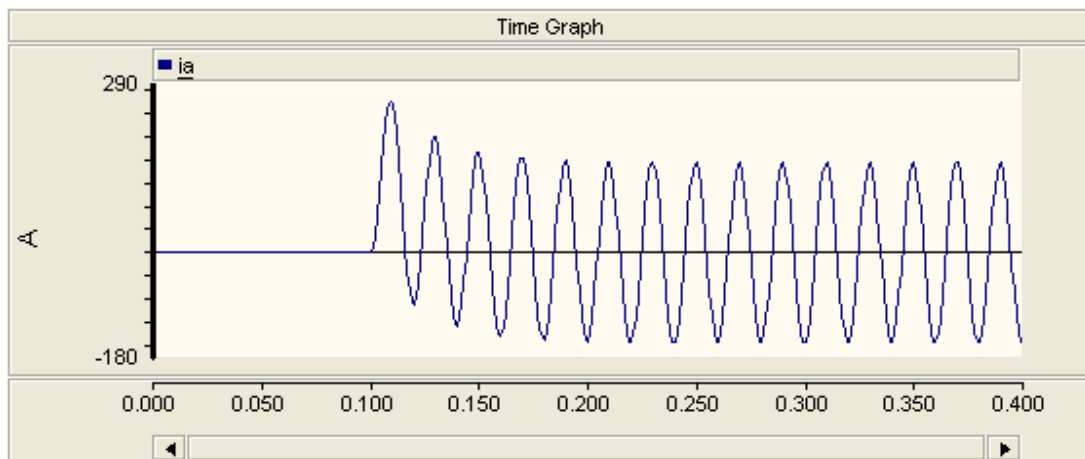
2-1-1-2-1: وصل مدار در لحظه ی عبور ولتاژ منبع از صفر

اگر بر طبق رابطه ی (2-2) در لحظه ی $\theta = \varphi$ کلید بسته شود، حداکثر دامنه ی جریان گذرا به دست می آید. در مدار مورد بحث، با انتخاب لحظه ی وصل $t=0/1$ s شکل های (2-9) و (2-10) به ترتیب برای ولتاژ و جریان بار نتیجه می شود.



شکل (2-9): منحنی ولتاژ بار به ازای تغییر زمان وصل مدار به $t=0/1$ s

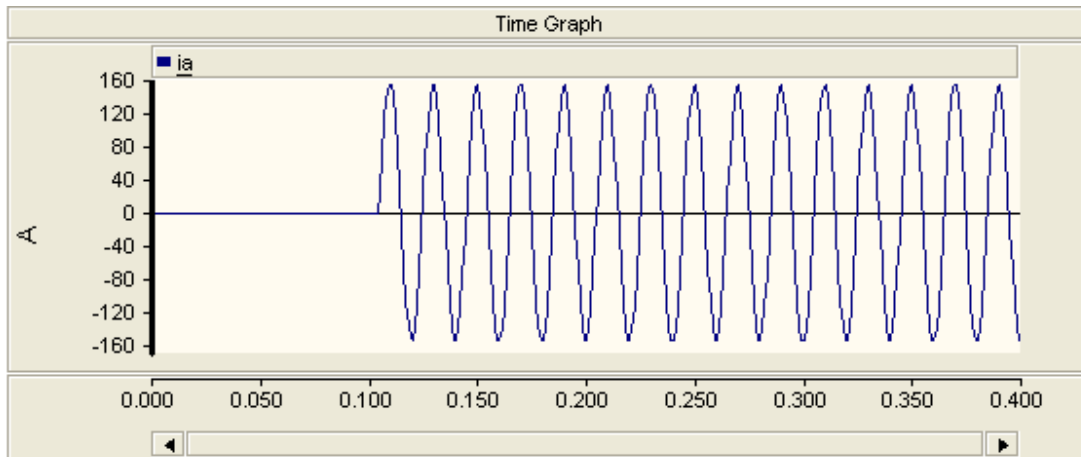
همان طور که ملاحظه می شود مانند قسمت های قبلی، ولتاژ منبع بدون هیچ تغییری در دو سر بار ظاهر شده، در نتیجه ولتاژ بار فاقد قسمت گذرا می باشد.



شکل (2-10): منحنی جریان مدار RL به ازای تغییر زمان وصل مدار به $t=0/1$ s

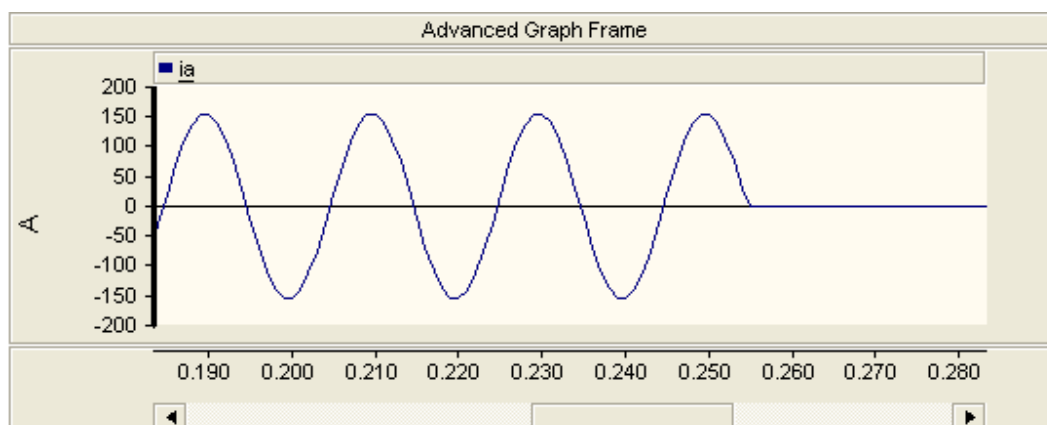
2-1-1-2-2: وصل مدار در لحظه ی عبور ولتاژ منبع از مقدار بیشینه

اگر بر طبق رابطه ی در لحظه ی $\theta = \varphi + \pi / 2$ کلید بسته شود، دامنه ی جریان گذرا به مقدار صفر خواهد رسید. در مدار مورد بحث با انتخاب لحظه ی وصل $t=0/104586$ s منحنی زیر برای جریان مدار به دست خواهد آمد.



شکل (2-11): جریان مدار RL وقتی دامنه ی قسمت گذرا صفر است

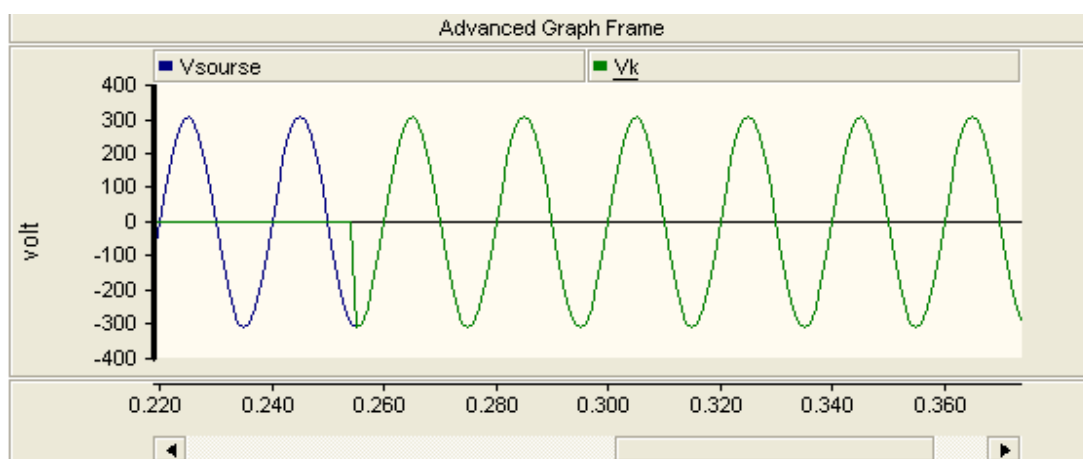
2-1-1-3: بررسی و شبیه سازی قطع کلید و تاثیر آن بر منحنی های جریان و ولتاژ بار در مدار RL با صدور فرمان قطع کلید و باز شدن مکانیکی تیغه های کلید، جرقه مابین تیغه ها ایجاد شده و مدار را به حالت وصل نگه می دارد تا جریان ضمن تغییرات طبیعی خود به مقدار صفر برسد. در این لحظه اگر شرایط قطع مدار فراهم باشد جرقه دوباره بر نمی گردد و مدار کاملا قطع می شود. اگر در مدار اصلی زمان قطع کلید $t=0/25$ s انتخاب شود منحنی زیر برای جریان مدار به دست می آید.



شکل (2-12): جریان مدار RL به هنگام قطع کلید

با توجه به منحنی شکل (2-12)، در لحظه $t=0/25$ s، جریان مدار مقداری مخالف صفر داشته لذا در این لحظه قطع مدار ممکن نبوده و جریان تغییرات طبیعی خود را طی می کند تا به مقدار صفر برسد. در لحظه $t=0/255$ s، مقدار جریان به صفر رسیده و جریان مدار قطع می شود.

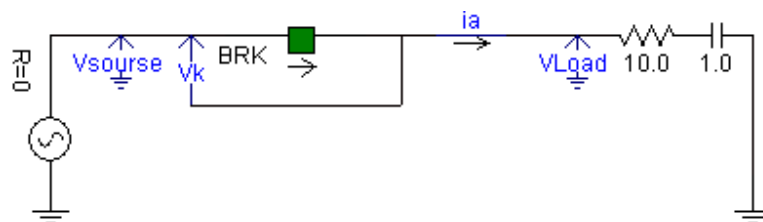
ولتاژ دو سر کلید که در هنگام وصل کلید مساوی صفر بوده در لحظه قطع، به مقدار ماکزیمم ولتاژ منبع تغییر مقدار پیدا کرده و زمان ظاهر شدن آن درست در لحظه قطع می باشد. شکل (2-13) را ببینید. شرایط فوق با تغییر لحظه قطع عوض نخواهد شد و عملکرد مدار برای هر لحظه قطع دیگر، مشابه روند بحث شده در بالاست.



شکل (2-13): ولتاژ برگشتی دو سر کلید به هنگام قطع مدار RL

2-1-2: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل مدار RC سری

مدار مورد نظر در این قسمت از یک مقاومت R سری با خازن C تشکیل شده و در شکل (2-14) مشاهده می شود. مقاومت منبع به صورت سری با مقاومت بار در نظر گرفته شده و از اندوکتانس منبع صرف نظر شده است. در نتیجه منبع ولتاژ به صورت ایده آل در نظر گرفته می شود. همچنین خازن بدون انرژی اولیه فرض شده است.



شکل (2-14): مدار Rc با منبع سینوسی

با بستن کلید معادله دیفرانسیلی جریان عبوری از مدار به صورت زیر می باشد:

$$R \frac{di}{dt} + \frac{1}{C} i = \frac{d}{dt} \{V_m \sin(\omega t + \theta)\} \quad 2-3$$

در رابطه ی (2-3) گنجاندن زاویه ی اختیاری θ اجازه ی وصل مدار را در هر لحظه ی دلخواه فراهم می کند. با حل معادله (2-3) جریان مدار به صورت زیر بدست می آید.

$$i(t) = i_m \left\{ \omega \sin(\omega t + \theta + \phi) + \frac{1}{\tau} \sin(\theta + \phi) e^{-\frac{t}{\tau}} \right\} \quad 2-4$$

در رابطه ی (2-4):

$$i_m \text{ مقدار ماکزیمم جریان حالت ماندگار بوده و از رابطه ی } i_m = \frac{V_m}{|Z|} = \frac{V_m}{\sqrt{1 + \omega^2 \tau^2}} \text{ بدست می آید.}$$

ϕ زاویه امپدانس بار بوده و از رابطه ی $\phi = \tan^{-1} \frac{1}{R\omega C}$ بدست می آید. به دلیل وجود مقاومت اهمی در مدار، ϕ کمتر از 90 درجه می باشد.

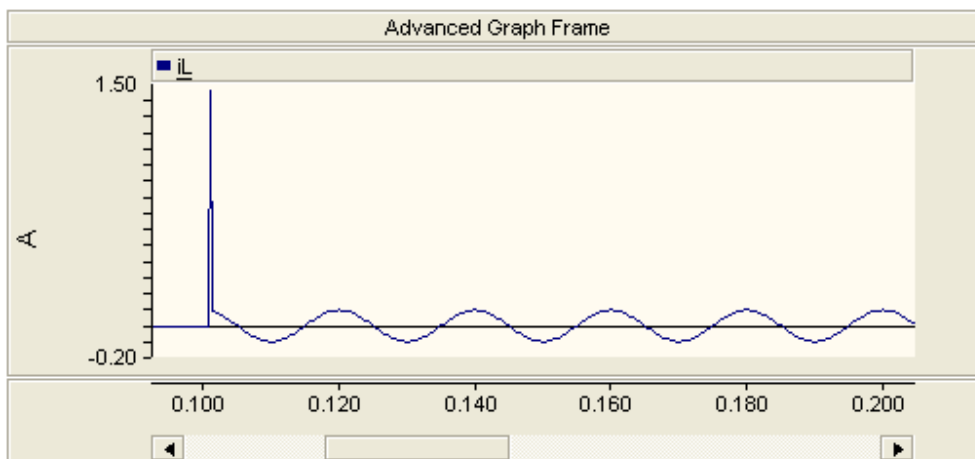
τ ثابت زمانی مدار بوده و از رابطه ی $\tau = RC$ بدست می آید.

با توجه به رابطه ی (2-4) جریان مدار از دو قسمت تشکیل شده است:

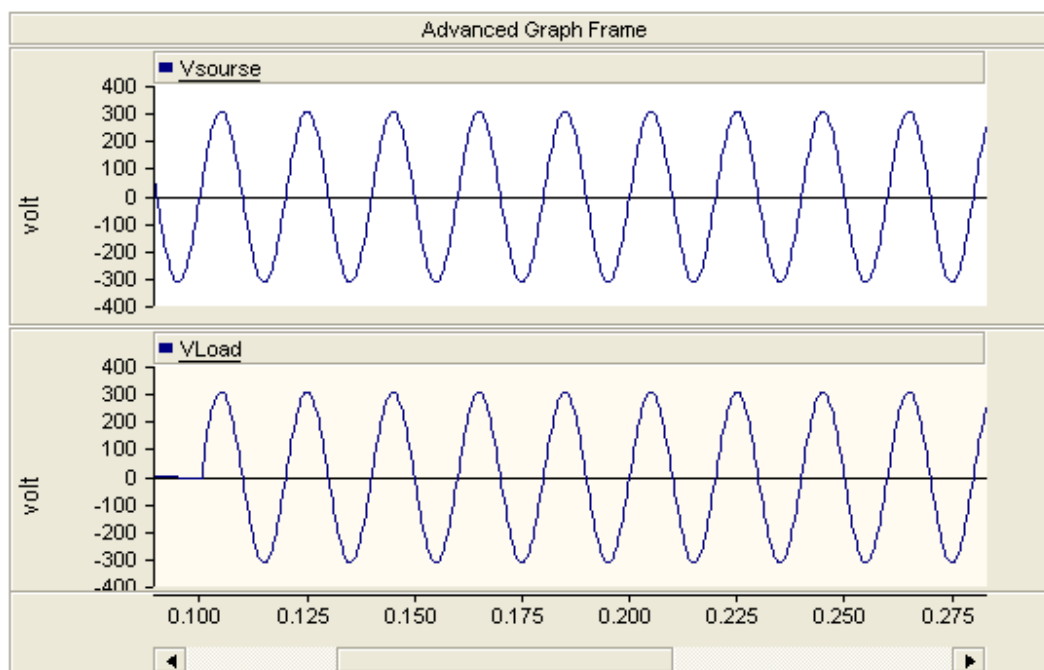
قسمت اول یک جریان متناوب سینوسی با دامنه i_m که دارای اختلاف زاویه فاز ϕ نسبت به ولتاژ منبع است. به این قسمت مولفه حالت ماندگار جریان گفته می شود.

قسمت دوم مولفه dc جریان که ثابت زمانی میرایی آن توسط τ مشخص می شود. در شکل‌های (2-15) و (2-16)-

(2) منحنی های ولتاژ منبع، ولتاژ و جریان بار به ازای مقادیر $R=10 \Omega$ و $C=1 \mu F$ آورده شده است.



شکل (15-2): جریان بار طی وصل مدار RC



شکل (16-2): ولتاژ منبع و ولتاژ بار طی وصل مدار RC

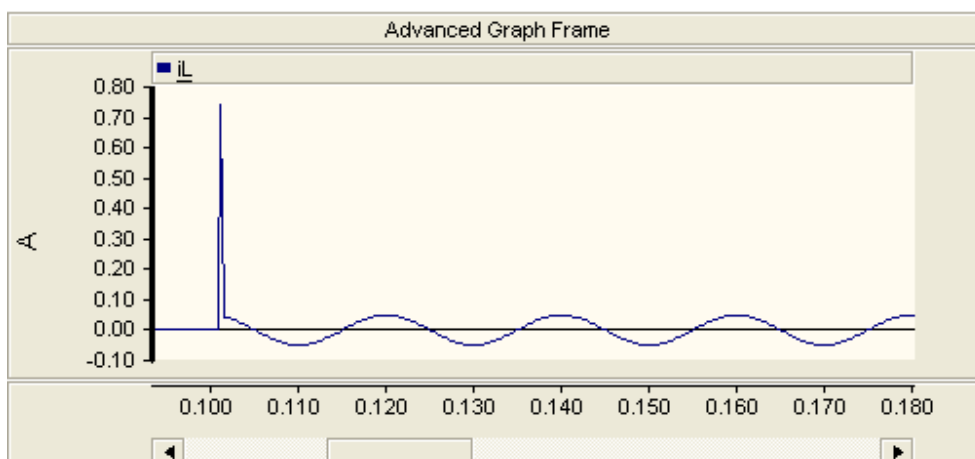
با توجه به منحنی‌ها مشاهده می‌شود در لحظه وصل بار به منبع یک جریان ضربه‌ای از مدار عبور می‌کند که ماکزیمم دامنه آن $i=1/47 \text{ A}$ و مدت میرایی آن $t=5 \tau=50 \mu \text{ s}$ می‌باشد.

2-1-2-1: بررسی اثر تغییر مقادیر R و C بر منحنی‌های جریان و ولتاژ بار طی وصل مدار

مقادیر مقاومت و خازن در مدار فوق علاوه بر تعیین اندازه و زاویه امپدانس بار، تعیین اندازه جریان حالت ماندگار و مشخص کردن مدت زمان میرایی پاسخ گذرای جریان را نیز بر عهده دارند. برای تغییر مقادیر R و C حالات متفاوتی می تواند در نظر گرفته شود.

2-1-2-1-1: تغییر مقادیر R و C و ثابت ماندن τ

اگر مقادیر R و C به نحوی تغییر پیدا کنند که مقدار τ ثابت بماند، تنها دامنه ی جریان حالت ماندگار تغییر پیدا کرده و مدت زمان میرایی پاسخ گذرا عوض نخواهد شد. در نمونه زیر، مقاومت مدار دو برابر و مقدار خازن نصف شده است. سایر مشخصات مدار ثابت در نظر گرفته شده تا اثر تغییرات اعمال شده مشاهده شود. منحنی بدست آمده در شکل (2-17) مشاهده می شود.



شکل (2-17): جریان بار طی وصل مدار RC

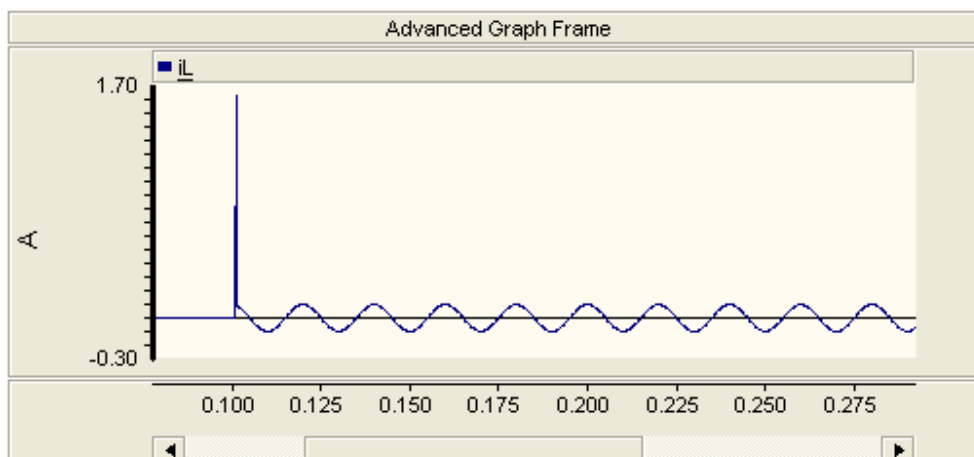
با توجه به افزایش امپدانس دامنه جریان کاهش پیدا کرده ولی مدت میرایی قسمت گذرا ثابت می - ماند.

2-1-2-1-2: تغییر مقادیر R ، C و τ

اگر مقادیر R و C طوری تغییر داده شود که مقدار τ نیز عوض شود، علاوه بر تغییر دامنه جریان حالت ماندگار، مدت زمان میرایی پاسخ گذرای جریان نیز تغییر پیدا خواهد کرد.

شکل (2-18) نتیجه حاصله را برای تغییر مقدار مقاومت به چهار برابر مقدار اصلی در حالی که بقیه مشخصات مدار ثابت است را نشان می دهد.

مشاهد می شود که مدت زمان میرایی پاسخ گذرا، با توجه به رابطه $\tau = RC$ چهار برابر شده است.



شکل (2-18): جریان بار طی وصل مدار RC

2-1-2-2: بررسی تغییر لحظه ی وصل کلید بر رفتار گذرای مدار

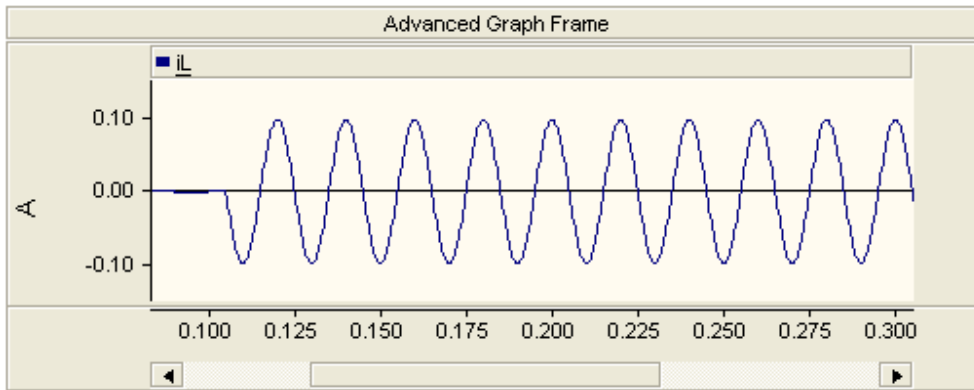
اگر در مدار RC اصلی، تنها لحظه ی وصل تغییر کرده و سایر پارامترها و مشخصات مدار ثابت فرض شود، جریان مانند قسمتهای قبلی با طی حالت گذرا به حالت ماندگار خود خواهد رسید. اما با تغییر لحظه وصل کلید هم دامنه ی جریان مولفه ماندگار و هم مدت زمان میرایی پاسخ گذرای مدار ثابت می ماند. در نتیجه تغییر لحظه وصل تنها بر دامنه جریان حالت گذرا تاثیر خواهد گذاشت.

2-1-2-2-1: وصل مدار در لحظه ی عبور ولتاژ منبع از صفر

در مدار RC اگر کلید در لحظه ی $\theta = \pi/2 - \phi$ بسته شود جریان گذرای مدار با حداکثر مقدار خود ظاهر خواهد شد. در مدار شبیه سازی شده اگر زمان وصل $t=0/1011$ s انتخاب شود، حداکثر دامنه ی پاسخ گذرا بدست خواهد آمد. شکل (2-15) را ببینید.

2-1-2-2-2: وصل مدار در لحظه ی عبور ولتاژ منبع از مقدار بیشینه

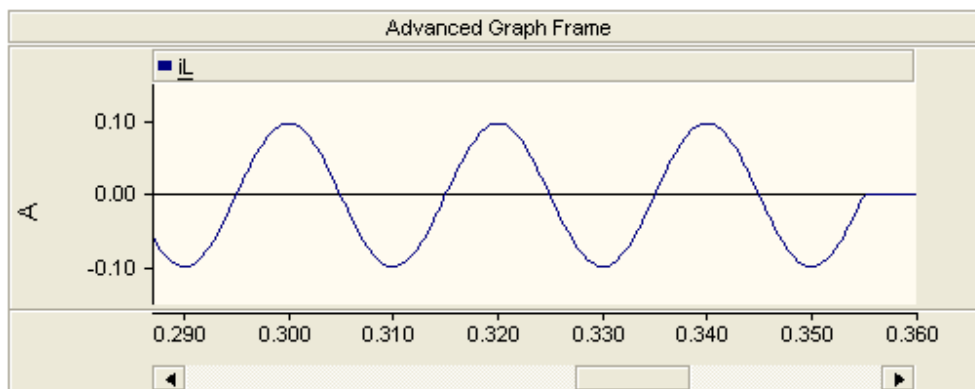
اگر در مدار RC، کلید در لحظه ی $\theta = \varphi$ بسته شود حالت گذرای برای جریان بار وجود نخواهد داشت. در مدار مورد بحث با انتخاب لحظه ی وصل $t=0/10485$ s چنین حالتی رخ می دهد. منحنی جریان مدار در این حالت در شکل (2-19) مشاهده می شود. برای سایر زمانها ی وصل، دامنه جریان حالت گذرا بین دو مقدار ذکر شده در بالا نوسان خواهد کرد.



شکل (2-19): جریان بار طی وصل مدار RC وقتی فاقد قسمت گذراست.

2-1-2-3: بررسی اثر تغییر لحظه ی قطع کلید بر رفتار گذرای مدار

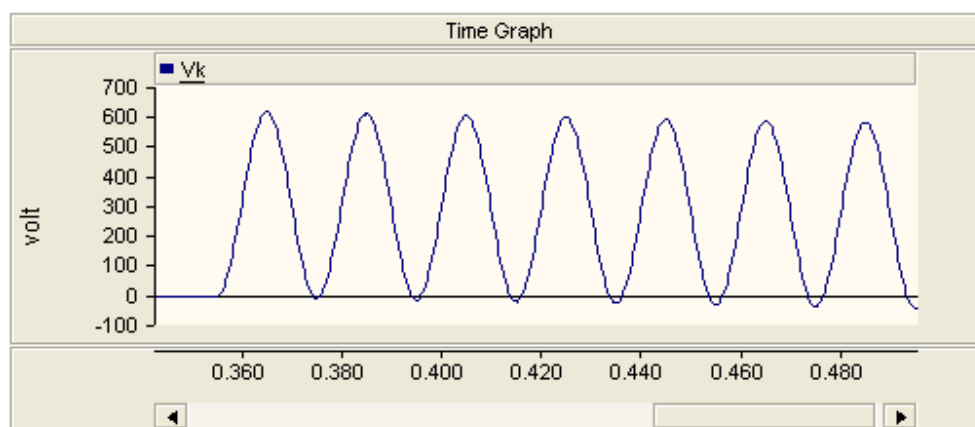
در یک مدار واقعی با صدور فرمان قطع کلید، جرقه ایجاد شده بین تیغه های کلید، مدار را به حالت بسته نگه می دارد تا جریان ضمن تغییرات عادی خود، به مقدار صفر برسد. در این لحظه مدار به طور کامل قطع خواهد شد. در ادامه ی کار مدار فوق، در لحظه ی $t=0/35$ s فرمان قطع کلید صادر می شود. اما مطابق شکل (2-20)، در این زمان مدار قطع نمی شود بلکه در $t=0/355$ s جریان صفر و مدار به طور کامل قطع خواهد شد.



شکل (2-20): جریان بار به هنگام قطع مدار RC

هم چنین در این حالت، در لحظه عبور جریان از صفر، خازن دارای یک ولتاژ معین است که با قطع جریان تخلیه نشده و در همان مقدار لحظه ی قطع باقی می ماند. به علت وجود ولتاژ خازنی، ولتاژ برگشتی دو سر کلید نیز در لحظه قطع کلید از مقدار صفر شروع و آهسته افزایش می یابد تا به دو برابر مقدار دامنه ولتاژ منبع برسد. شکل (2-21) را ببینید.

تغییر لحظه ی قطع کلید تاثیری بر روند گفته شده نخواهد داشت.



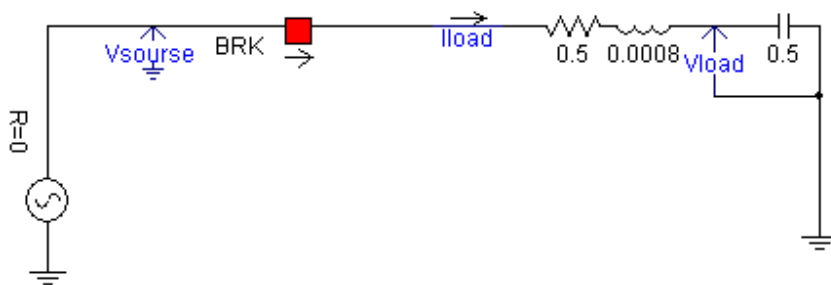
شکل (2-21): ولتاژ دو سر کلید طی قطع مدار RC

2-1-3: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل مدار RLC سری

مدار مورد نظر از سه عنصر سری، مقاومت R، اندوکتانس L و خازن C تشکیل شده است. امپدانس منبع ولتاژ به صورت سری با امپدانس بار در نظر گرفته می شود. در بررسی ذیل از نمایش منبع تک فاز ایده آل استفاده شده و همچنین سلف و خازن بدون انرژی اولیه فرض شده اند.

مدار مربوطه در شکل (2-22) نشان داده شده است. با بستن کلید معادله دیفرانسیلی ولتاژ خازن به صورت زیر نوشته می شود:

$$LC \frac{d^2v}{dt^2} + RC \frac{dv}{dt} + v = V_m \sin(\omega t + \theta) \quad 2-5$$



شکل (2-22): مدار RLC با منبع سینوسی

معادله (2-5) یک معادله درجه دوم با ضرایب ثابت بوده و پاسخ آن دارای دو قسمت است:

1- قسمت گذرا که از حل معادله ی همگن زیر بدست خواهد آمد. $LCS^2 + RCS + 1 = 0$

2- مولفه ی پایدار که از روش فیزوری قابل دستیابی است.

شکل پاسخ گذرا به مقادیر R، L و C بستگی خواهد داشت. بر حسب مقادیر این پارامترها، سه حالت کلی برای پاسخ گذرا می توان در نظر گرفت.

الف) میرای ضعیف

ب) میرای بحرانی

ج) میرای شدید

در حالت میرای ضعیف رابطه ی ولتاژ خازن به صورت زیر به دست می آید:

$$V_c(t) = Ke^{-at} \text{Cos}(W_d t + \delta) + V_c \max \text{Sin}(Wt + \theta - \varphi - 90) \quad 2-6$$

در رابطه ی 6-2:

θ اختلاف فاز لحظه وصل کلید با لحظه ای است که ولتاژ منبع تغذیه از صفر عبور می کند. گنجاندن این زاویه در رابطه فوق اختیاری می باشد.

φ زاویه امپدانس بار بوده و از رابطه ی $\varphi = \tan^{-1} \frac{lcw^2 - 1}{Rcw}$ بدست می آید.

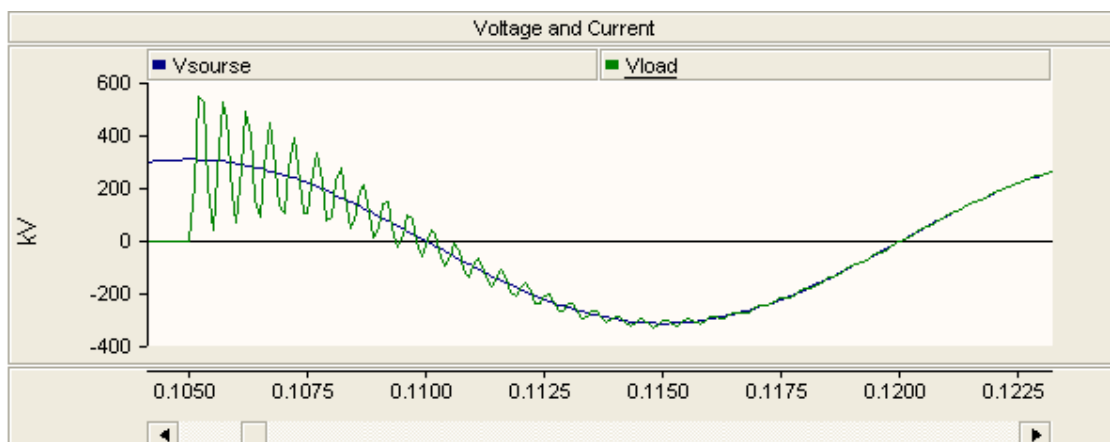
$V_c \max$ دامنه ی ولتاژ خازن در حالت ماندگار بوده و از رابطه ی (2-7) به دست می آید.

$$V_c \max = \frac{V_m}{\sqrt{(RCW)^2 + (LCW^2)^2 + 1}} \quad 2-7$$

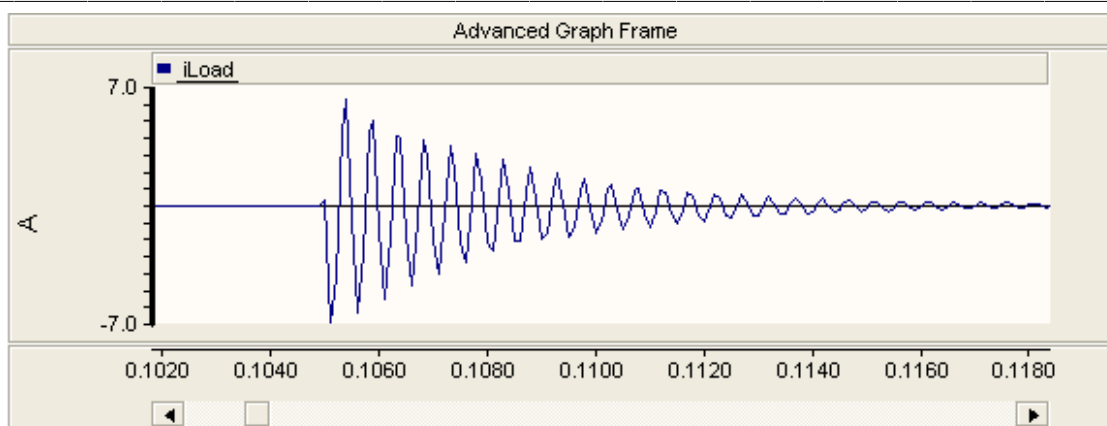
α ضریبی است که از رابطه ی $\alpha = \frac{R}{2L}$ به دست می آید.

k و δ دو عدد ثابت که از شرایط اولیه ی مدار به دست می آیند (برای مطالعه بیشتر به کتب مدارهای الکتریکی مراجعه شود).

در شکلهای (2-23) و (2-24) منحنی های ولتاژ خازن و جریان مدار برای مدار مورد بحث، به ازای مقادیر $C=0.5 \mu F$ ، $L=0.8 \text{ mH}$ ، $R=0.5 \Omega$ و زمان وصل کلید $t=0.105 \text{ s}$ نشان داده شده است.



شکل (2-23): ولتاژ بار و منبع طی وصل مدار



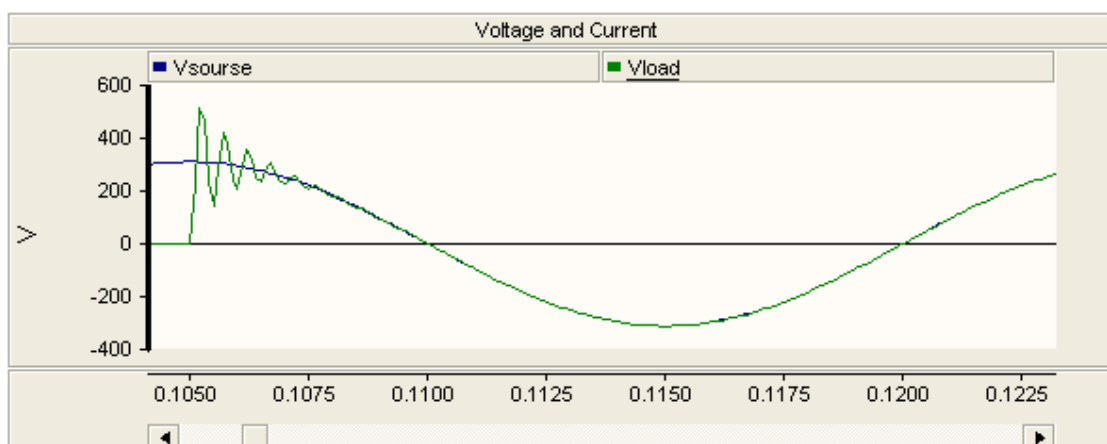
شکل (2-24): جریان بار طی وصل مدار

همانطور که انتظار می رفت مدار در حالت میرایی ضعیف قرار دارد. هم ولتاژ خازن و هم جریان مدار با طی حالت سینوسی میرا به حالت ماندگار خود می رسند. مدت میرایی پاسخ گذرای مدار $t = 0/015$ s می باشد و در حالت ماندگار، مدار بیشتر خاصیت خازنی از خود نشان می دهد.

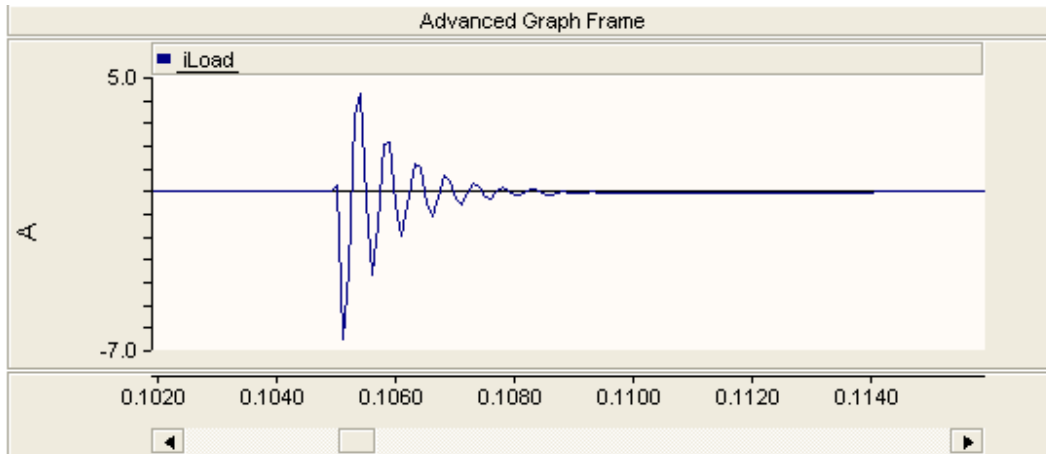
2-1-3-1: بررسی تاثیر مقادیر پارامترهای مدار بر منحنی های جریان و ولتاژ خازن

2-1-3-1-1: افزایش مقدار مقاومت

اگر در مدار اصلی، تنها مقدار مقاومت چهار برابر شود یعنی $R=2\ \Omega$ و سایر مشخصات مدار ثابت بماند، مشاهده خواهد شد مدار در حالت میرایی ضعیف قرار گرفته لیکن به علت افزایش امپدانس بار دامنه جریان وهم مدت میرایی قسمت گذرای جریان کاهش می یابد. شکلهای (2-25) و (2-26) نتایج شبیه سازی این قسمت را نشان می دهند.



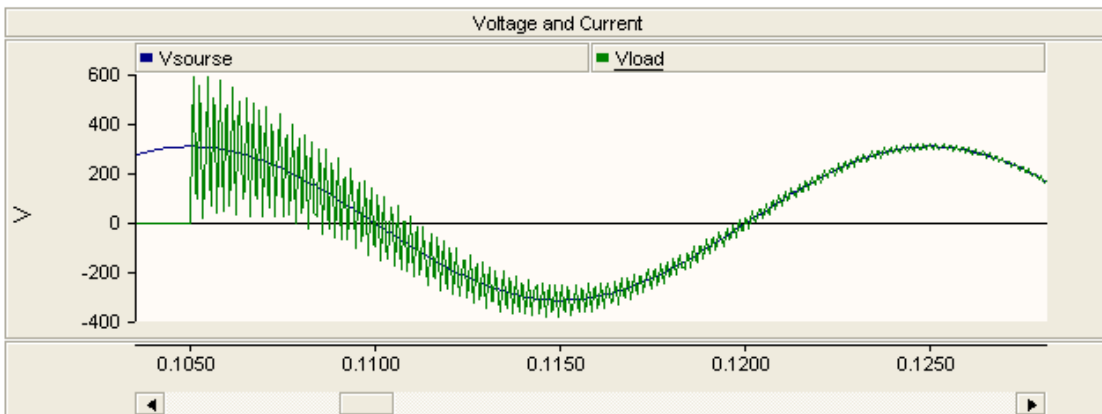
شکل (2-25): ولتاژ بار و منبع طی وصل مدار



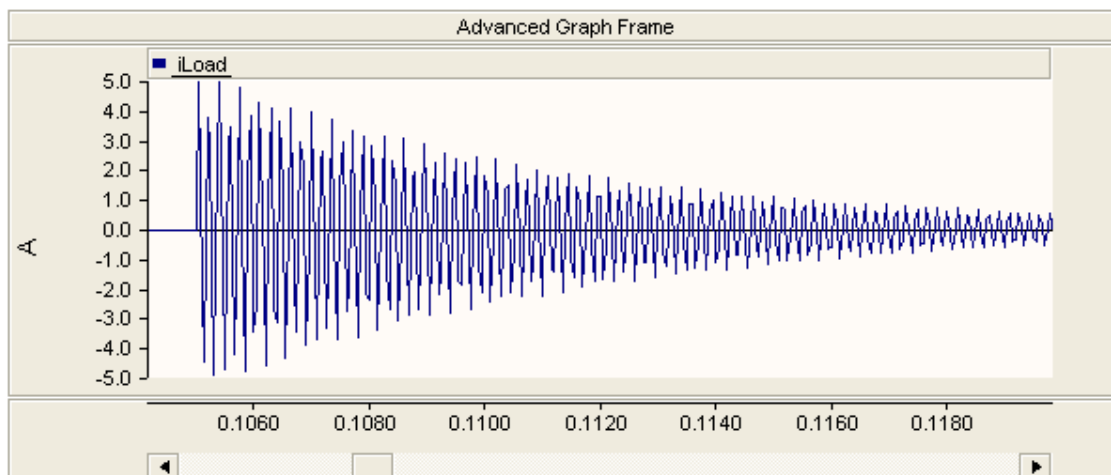
شکل (2-26): جریان بار طی وصل مدار

2-1-3-1-2: افزایش مقدار اندوکتانس

با افزایش مقدار اندوکتانس به دو برابر مقدار اولیه در مدار اصلی و ثابت ماندن سایر مشخصات مدار، با توجه به منحنی های شکل های (2-27) و (2-28)، علاوه بر کاهش دامنه جریان ماندگار در نتیجه افزایش امپدانس، مدت میرایی نیز افزایش می یابد.



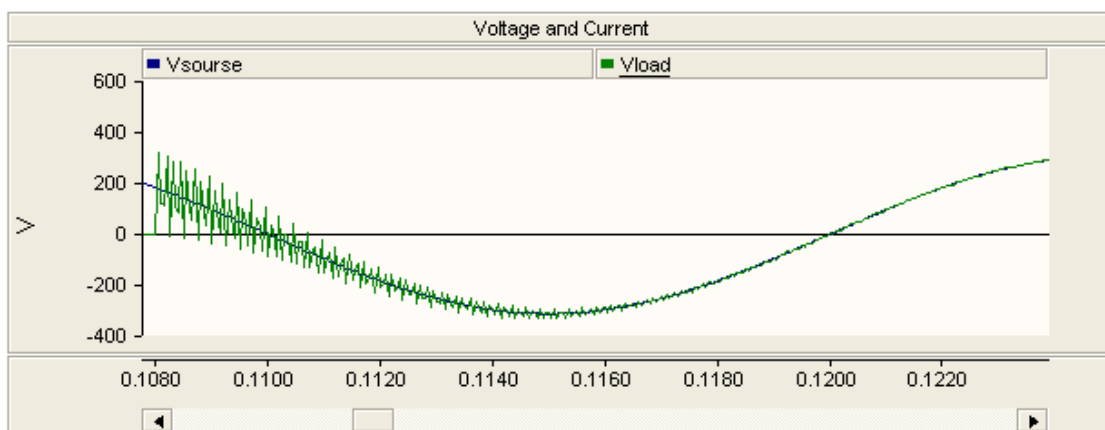
شکل (2-27): ولتاژ بار و منبع طی وصل مدار



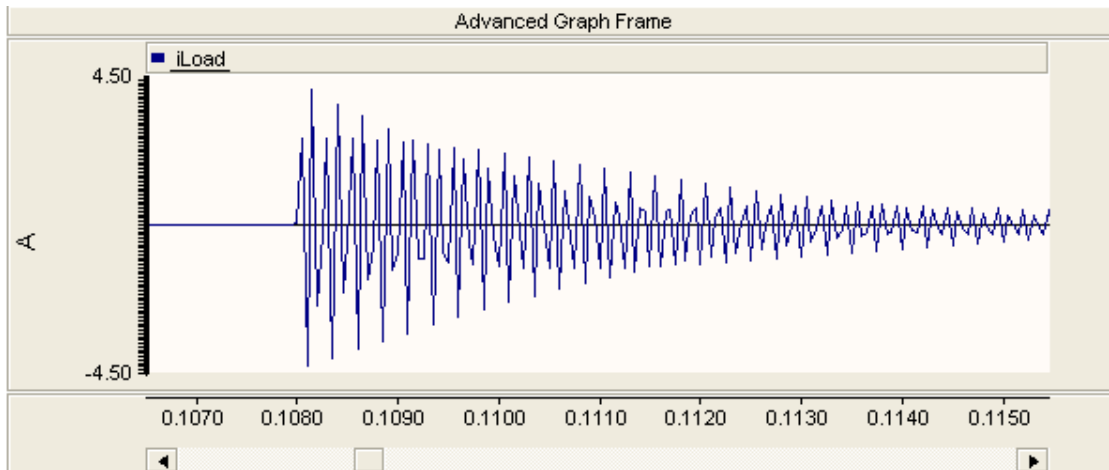
شکل (2-28): جریان بار طی وصل مدار

2-1-3-2: بررسی اثر تغییر لحظه ی وصل کلید بر منحنی های جریان و ولتاژ بار

تغییر لحظه ی وصل کلید، بر روی دامنه ی جریان گذرا تاثیر خواهد گذاشت. به عنوان مثال در زمان وصل $t=0/108$ s ، دامنه ی جریان گذرا نسبت به حالت قبل کوچک می شود اما مدت میرایی آن کماکان ثابت و برابر $t=0/015$ s می باشد. در شکلهای (2-29) و (2-30) این واقعیت نشان داده شده است.



شکل (2-29): ولتاژ بار و منبع طی وصل مدار

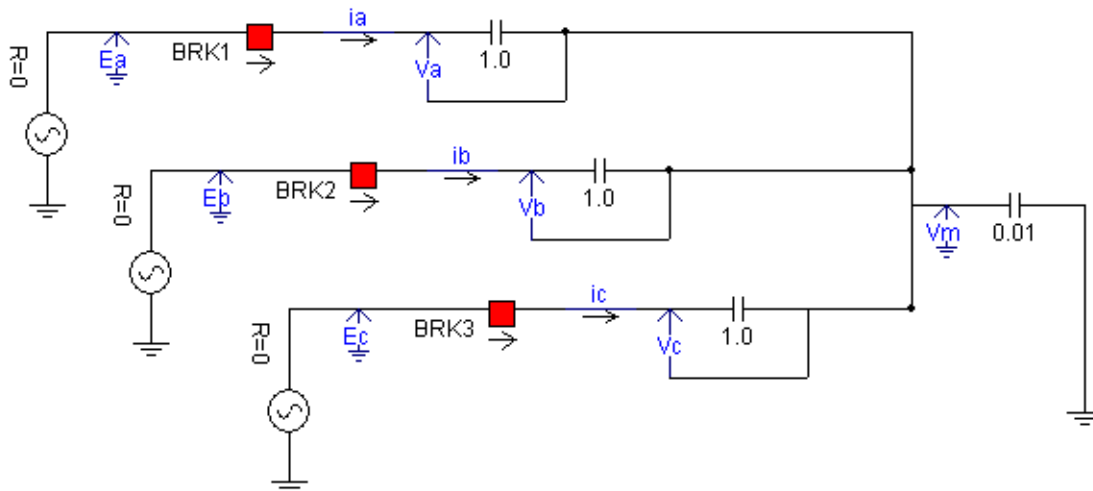


شکل (2-30): جریان بار طی وصل مدار

2-2: بررسی و شبیه سازی حالت‌های گذرا در مدارات سه فازه [۳]

2-2-1: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل بانک خازنی سه فاز

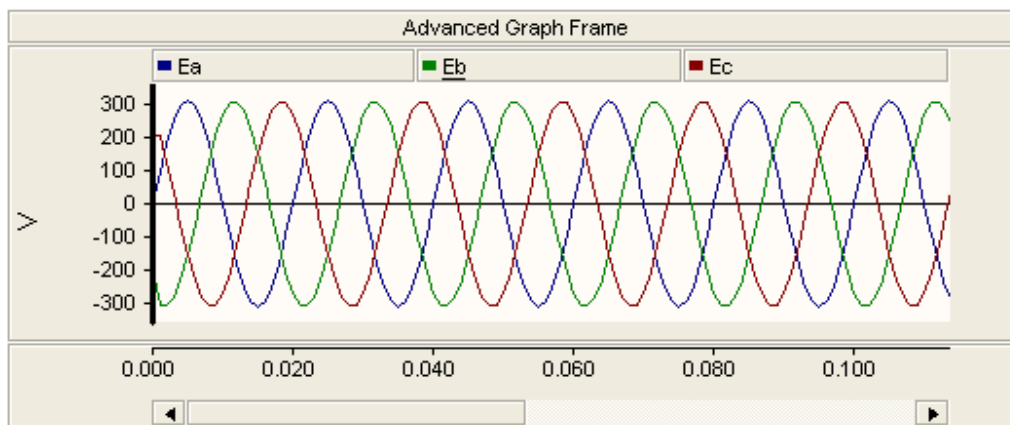
در این بررسی، بار مورد نظر یک بانک خازنی سه فاز با اتصال ستاره است. مقدار خازن هر فاز $c=1 \mu\text{F}$ فرض شده و نقطه صفر اتصال ستاره بانک خازنی، توسط یک خازن به ظرفیت $c=0/01 \mu\text{F}$ به زمین وصل شده است. منبع ولتاژ یک منبع سه فاز متقارن و ایده آل در نظر گرفته شده است. مدار شبیه سازی شده در شکل (2-31) نشان داده شده است.



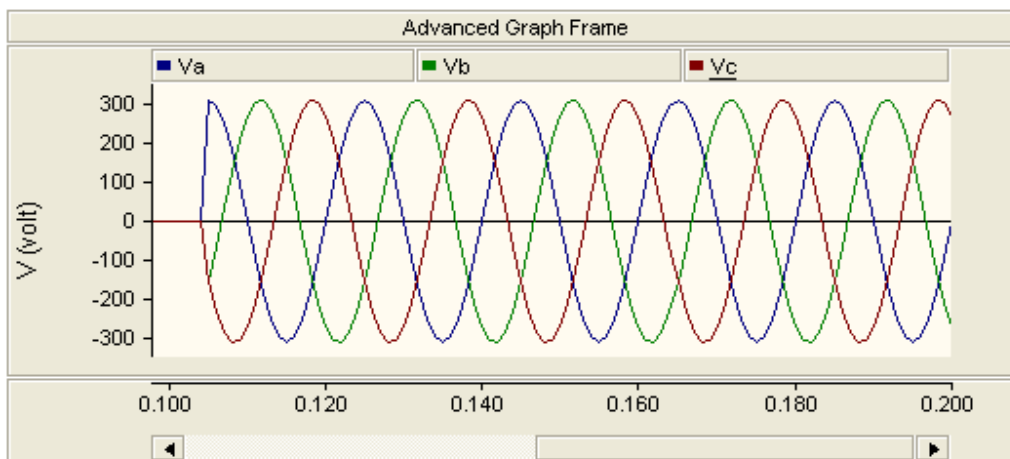
شکل (2-31): بانک خازنی سه فاز

2-2-1-1: بررسی وصل بانک خازنی

در زمان $t=0/105$ s فرمان وصل کلید سه فاز صادر می شود. بلافاصله در لحظه وصل، ولتاژ منبع در دو سر خازنها ظاهر می شود. ولتاژ خازنها حالت گذرای نداشته و از همان لحظه وصل رفتار ماندگار خود را به نمایش می گذارند. شکل های (2-32) و (2-33) ملاحظه شود.



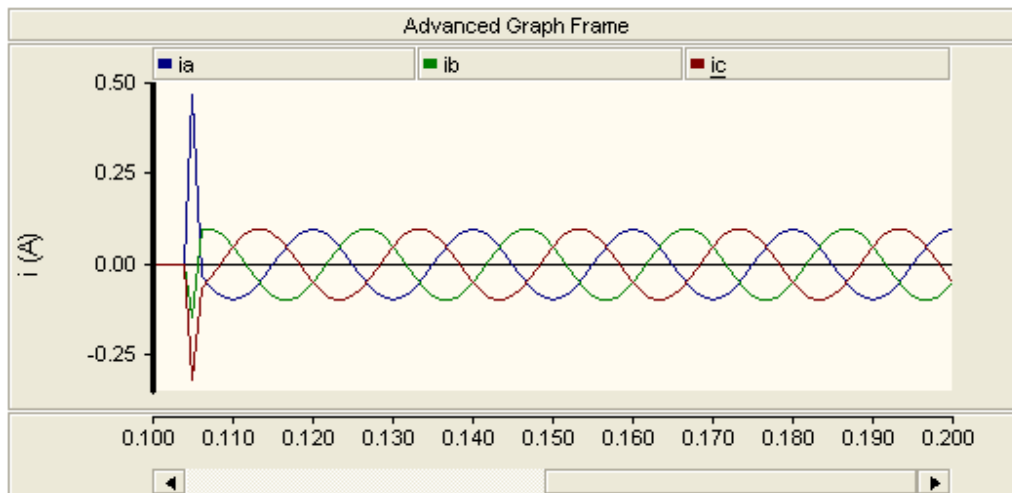
شکل (2-32): شکل موج ولتاژ منبع سه فاز



شکل (2-33): شکل موج ولتاژهای بانک خازنی طی وصل مدار

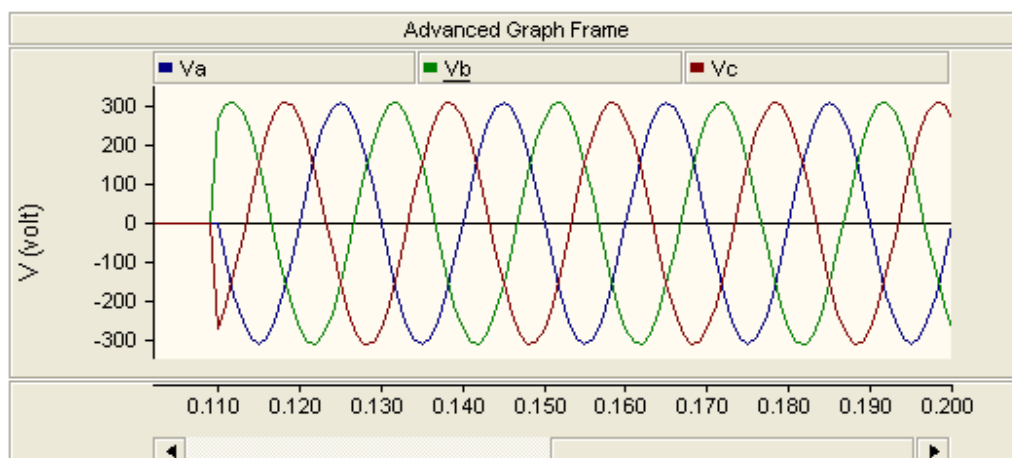
به علت تغییر ناگهانی ولتاژ خازنها در لحظه وصل، جریان مدار باید شامل یک جریان ضربه ای در لحظه وصل باشد. جریان هر سه فاز در لحظه وصل شامل یک جریان ضربه ای می باشد و پس از آن به حالت ماندگار می

رسد. در حالت ماندگار جریان هر فاز اختلاف فاز 120 درجه ای را با دو فاز دیگر پیدا می کند. شکل موج جریان فازها در شکل (2-34) آمده است.

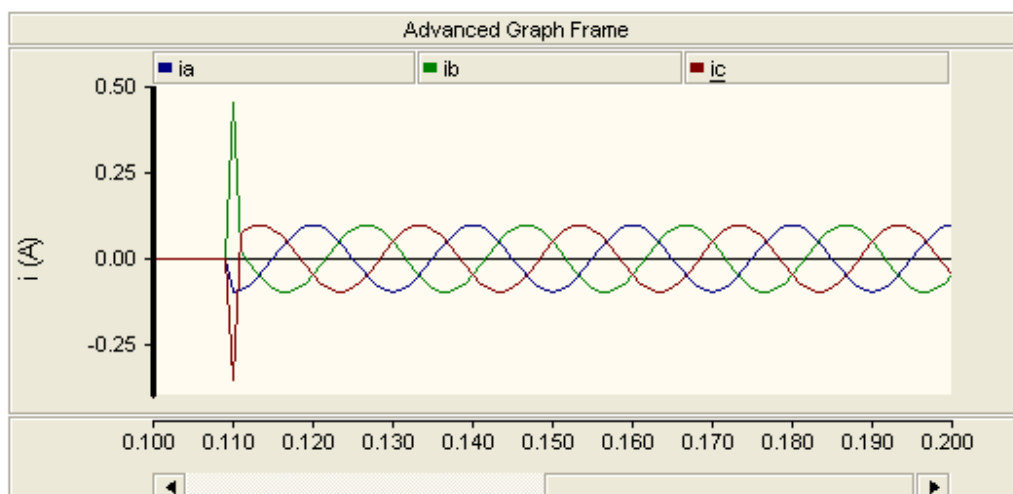


شکل (2-34): شکل موج جریان فازها طی وصل مدار

تغییر لحظه وصل کلید سه فاز در این مدار تاثیری بر روند فوق نداشته و این فرآیند برای هر لحظه وصل دیگر نیز رخ می دهد. به عنوان نمونه منحنی های ولتاژ و جریان مدار برای لحظه ی وصل $t=0/11$ s در شکل های (2-35) و (2-36) آمده است. همانطور که مشاهده می شود ولتاژ خازنها در زمان وصل حالت گذرایی نداشته، اما جریان هر سه فاز در زمان وصل شامل یک جریان ضربه ای می باشد.



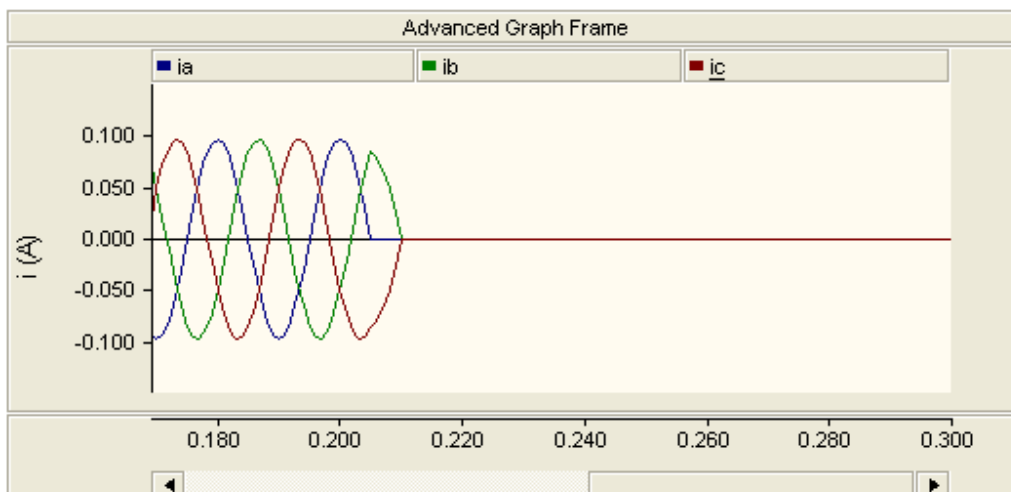
شکل (2-35): شکل موج ولتاژ فازهای بانک خازنی طی وصل مدار



شکل (2-36): شکل موج جریان فازها به هنگام وصل بانک خازنی

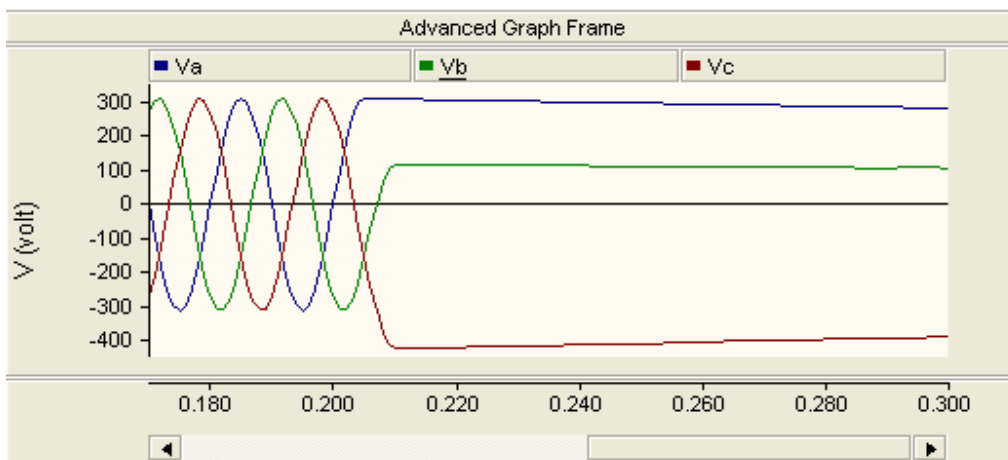
2-2-1-2: بررسی قطع بانک خازنی

فرمان قطع کلید سه فاز در زمان $t=0/205$ s صادر می شود. می دانیم درعمل به هنگام قطع مدارات، جرقه کلید را به حالت وصل نگه داشته تا جریان به حالت عادی قبل از قطع تغییر کرده و به مقدار صفر برسد. در اینجا نیز برای لحظه ی قطع انتخاب شده، جریان فازها از بقیه فازها زودتر به صفر رسیده و قطع می شود (شکل (37)-2)).



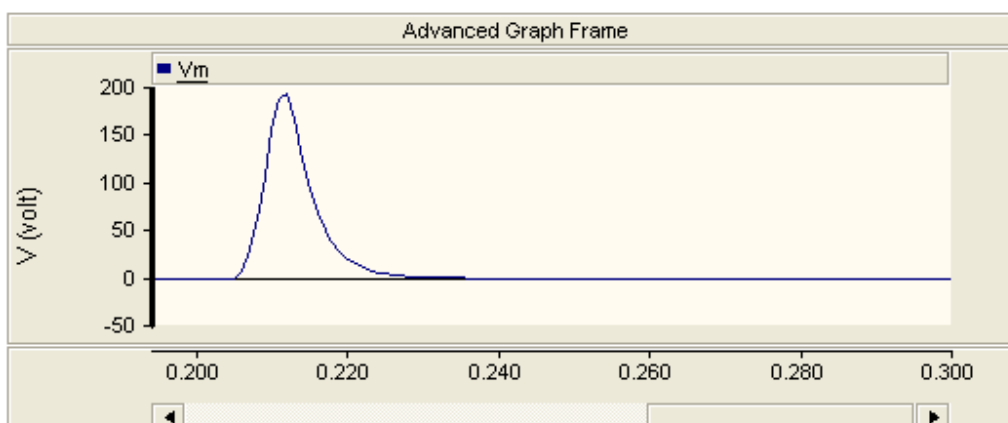
شکل (2-37): شکل موج جریان فازها به هنگام قطع بانک خازنی

در این لحظه ولتاژ خازن فاز A، مساوی 311 ولت بوده و بعد از قطع ثابت می ماند. از این لحظه به بعد فاز B و C تشکیل یک مدار تک فاز داده که ولتاژ منبع تغذیه آن $V_b - V_c$ بوده، لذا جریان آنها از نظر اندازه برابر و از نظر علامت مخالف می باشد. در نتیجه این نوع خاص رفتار، خازن فاز B دشارژ شده و ولتاژ آن به مقدار $V_b = 115 \text{ v}$ می رسد. اما خازن فاز C شارژ می شود تا در لحظه قطع همزمان فازهای B و C، ولتاژ آن به $V_c = -420 \text{ v}$ برسد. شکل (2-38) ملاحظه شود.



شکل (2-38): شکل موج ولتاژ فازها به هنگام قطع بانک خازنی

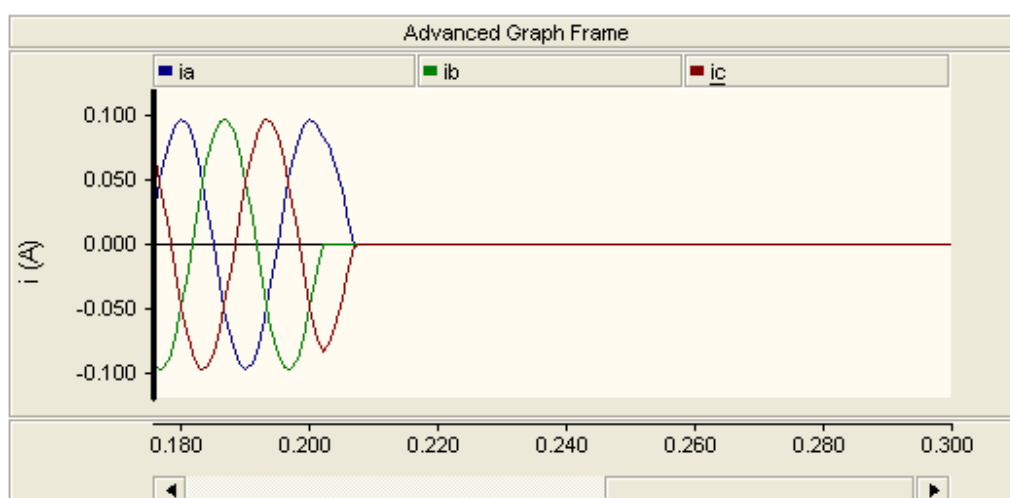
در نتیجه ی این تقسیم نامساوی ولتاژ در خازنهای B و C، ولتاژ نقطه صفر اتصال یعنی V_m نیز نسبت به زمین تغییر پیدا می کند (شکل (2-39)).



شکل (2-39): شکل موج ولتاژ نقطه ی صفر فازها به هنگام قطع بانک خازنی

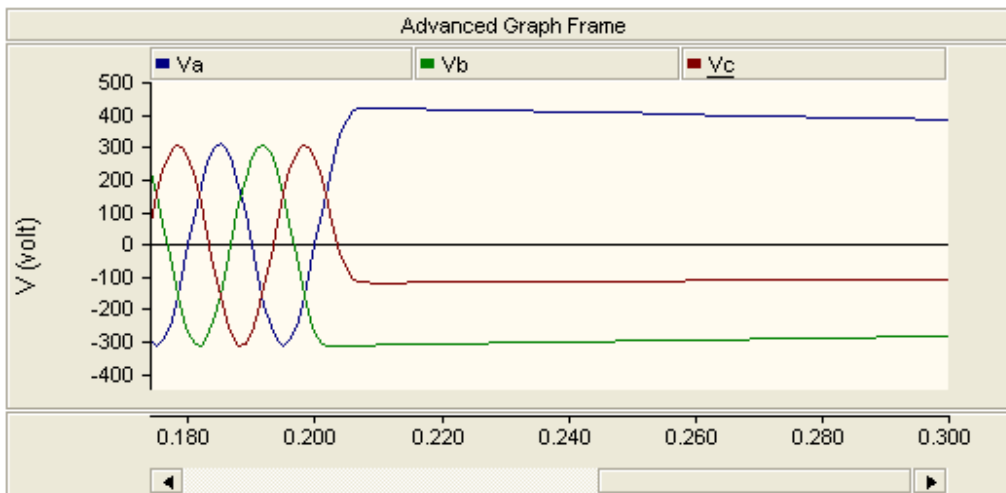
3-1-2-2: بررسی تغییر لحظه ی قطع کلید بر رفتار گذرای مدار

در مدار مورد بحث قرار گرفته، این بار زمان قطع $t=0/2$ s انتخاب می شود. در این حالت در هنگام قطع مدار جریان فاز A حداکثر مقدار خود را دارا می باشد و جریان فازهای B و C مساوی هم و برابر نصف حداکثر جریان یعنی $\frac{i_m}{2}$ هستند. با صدور فرمان قطع کلید در این لحظه ابتدا جریان فاز B به صفر رسیده و زودتر از همه قطع می شود. شکل (2-40) ملاحظه شود.

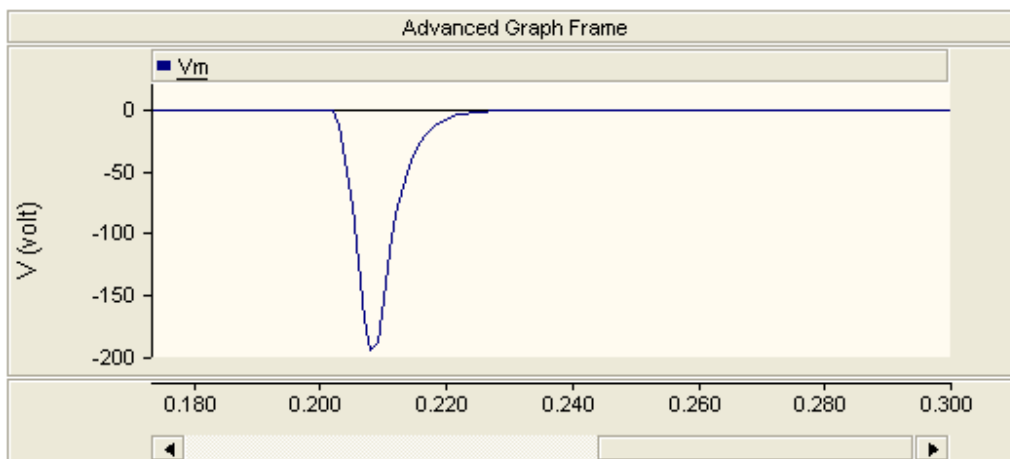


شکل (2-40): شکل موج جریان فازها به هنگام قطع مدار

لذا از این لحظه به بعد فازهای A و C تشکیل مدار تک فاز داده و جریانهای شارژ و دشارژ آنها ادامه می یابد با به صفر برسد. پس روند کلی تغییرات مشابه قسمت قبل بوده منتها جابجایی فازها اتفاق می افتد. منحنی ولتاژهای خازنها در شکل (2-41) آورده شده است.



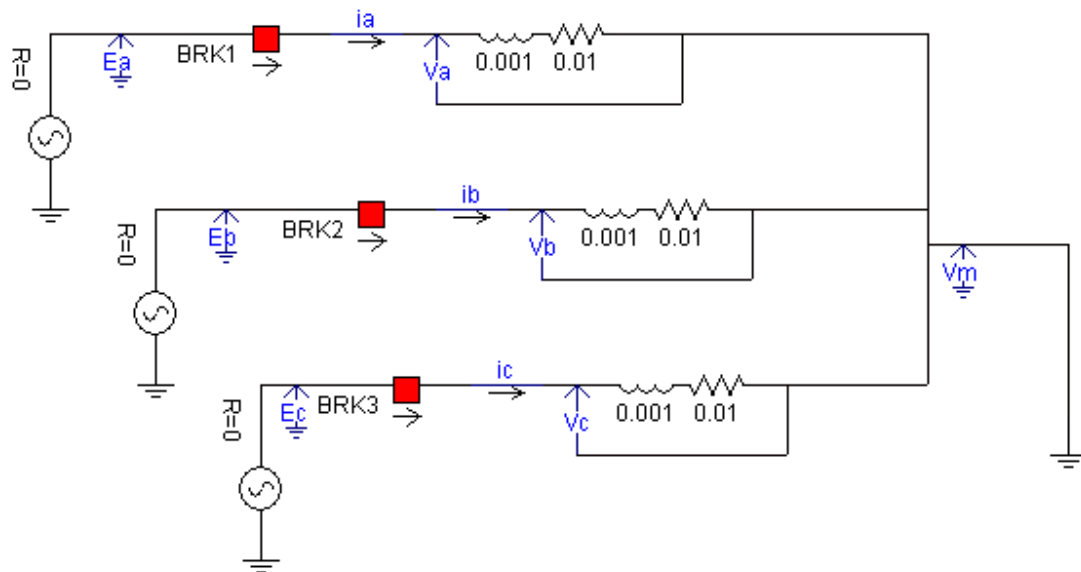
شکل (2-41): شکل موج ولتاژ فازها به هنگام قطع بانک خازنی



شکل (2-42): شکل موج ولتاژ نقطه ی صفر فازها به هنگام قطع بانک خازنی

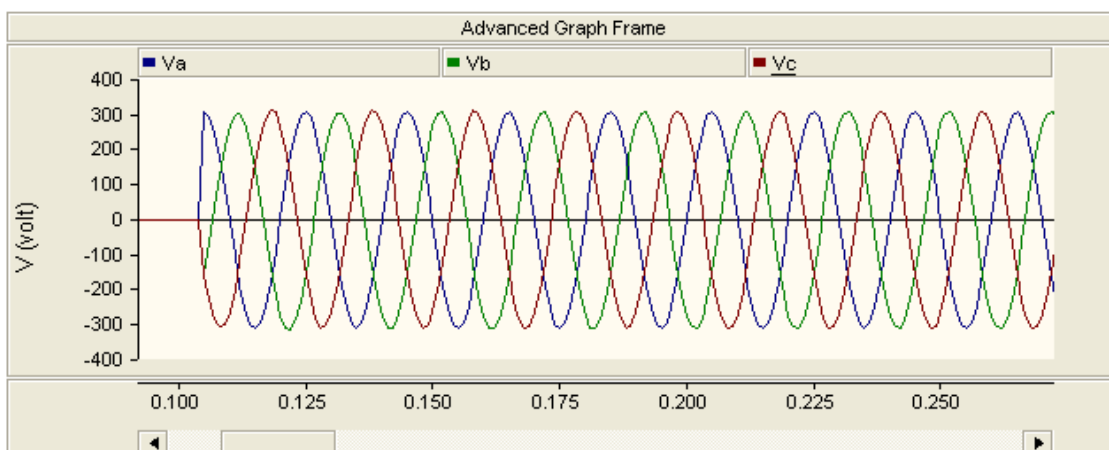
2-2-2: بررسی و شبیه سازی حالت های گذرای ناشی از قطع و وصل بار سه فازه سلفی

در بررسی این قسمت بار سه فازه یک بار متعادل، که امپدانس هر فاز آن شامل مقاومت سری با اندوکتانس می باشد، در نظر گرفته شده است. مقدار مقاومت و اندوکتانس هر فاز به ترتیب $R=0/01\Omega$ و $L = 0/001H$ می باشد. مدار مورد نظر در شکل (2-43) نشان داده شده است.



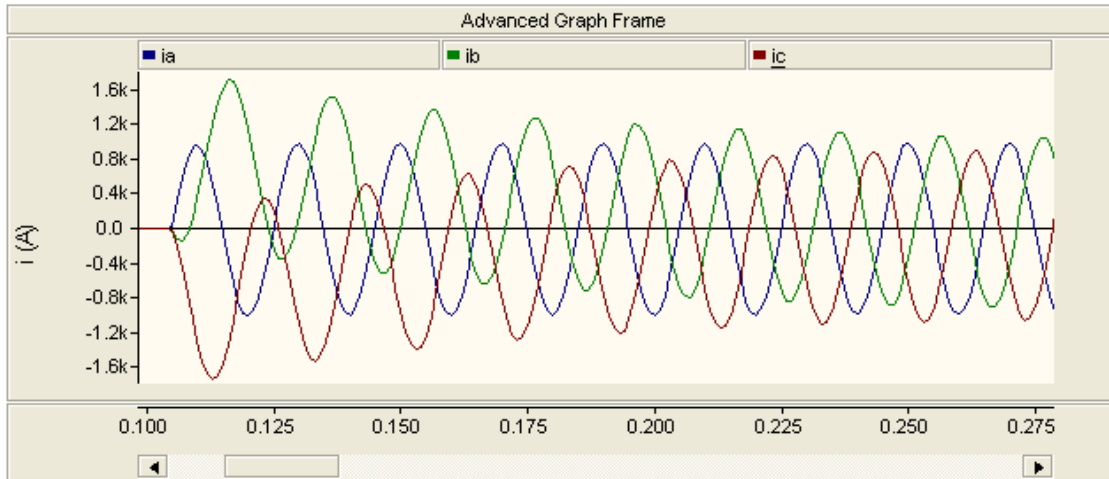
شکل (2-43): مدار سه فاز سلفی

در لحظه $t = 0/105$ s بار به منبع وصل می شود. در این لحظه ولتاژ منبع فاز A، حداکثر مقدار خود و ولتاژ منابع فازهای B و C به ترتیب مساوی هم و نصف مقدار ماکزیمم حالت عادی را دارا می باشند. همانطور که در شکل (2-44) مشاهده می شود، با وصل بار، ولتاژ دو سر بار ولتاژ منبع را بلافاصله به خود گرفته و حالت گذرای نخواهد داشت.



شکل (2-44): شکل موج ولتاژ فازها به هنگام وصل بانک سلفی

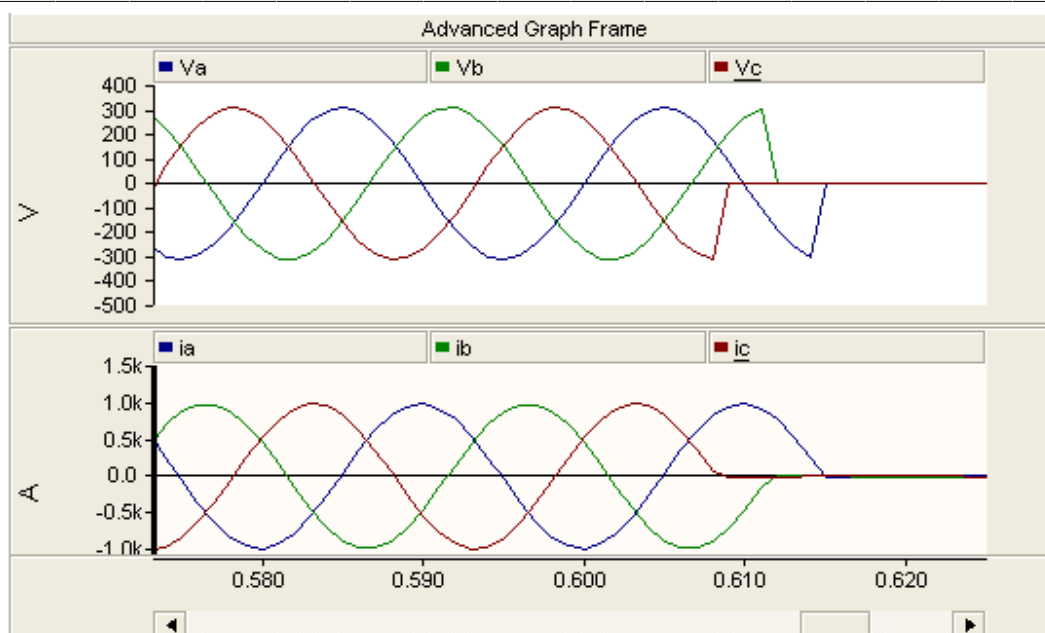
اما جریان فازها با طی حالت گذرا به حالت ماندگار خود می رسند. جریان هر فاز از جمع دو مولفه ac و dc بدست آمده و مدت زمان میرایی پاسخ گذرای هر سه فاز یکسان است. نتایج بدست آمده برای جریان های مدار در شکل (2-45) مشاهده می شود.



شکل (2-45): شکل موج جریان فازها به هنگام وصل مدار سلفی سه فاز

با قطع مدار در لحظه $t = 0/605$ s تیغه های کلید توسط جرقه به حالت بسته نگه داشته می شود تا جریان فازها به طور طبیعی به مقدار صفر برسد. ولتاژهای هر فاز نیز تغییرات عادی خود را بدون طی حالت گذرای سپری می کنند.

شکل (2-46) نتایج حاصله را نشان می دهد.



شکل (2-46): شکل موج ولتاژ و جریان فازها به هنگام قطع مدار سلفی سه فاز

فصل سوم:

بررسی و شبیه سازی حالات گذرا در یک سیستم مجهز به منابع DG

مقدمه:

سیستمهای تولید توان پراکنده بعنوان یک مکمل برای نیروگاه های متمرکز قدیمی به وجود آمده اند و بر اساس تولید غیر متمرکز برق نزدیک مصرف کننده هستند. افزایش عمق نفوذ DG و حضور واحدهای DG متعدد در مجاورت الکتریکی یکدیگر مفهوم میکرو شبکه را به بار آورده است. یک میکرو شبکه، یک قسمت از سیستم الکتریکی است که دارای یک یا چند واحد DG با قابلیت عملکرد مستقل یا موازی با شبکه اصلی است در حالی که به بارها سرویس دائمی می دهد.

یک شبکه میکرو مستقل هنگامی تشکیل خواهد شد که یک ناحیه الکتریکی که قابلیت عملکرد مستقل را دارد از بقیه شبکه جدا شود؛ یعنی یک پست توزیع همراه با فیدرهایش که بارهای محلی را تغذیه می کند. تشکیل یک شبکه میکرو مستقل، ناشی از فرآیند جداسازی، می تواند بوسیله اغتشاشاتی از قبیل خطا یا ناشی از کلیدزنی های از پیش تعیین شده بوجود آید. بعد از جدا شدن میکرو شبکه از شبکه اصلی، میکرو شبکه حالت گذرایی را تجربه خواهد کرد. شدت حالات گذرای بوجود آمده به طور زیادی به عوامل زیر بستگی دارد:

1- شرایط عملکرد قبل از جدا شدن از شبکه اصلی

2- نوع خطایی که باعث جداسازی می شود.

3- نوع واحدهای DG موجود در میکرو شبکه

میکرو شبکه بایستی بعد از جداسازی در حالت بهره برداری باقی بماند و تقاضای بار را جوابگو باشد. واحدهای DG از لحاظ تولید توان و کنترل، به دو دسته اصلی تقسیم بندی می شوند:

1- واحدهای dispatchable

2- واحدهای nondispatchable

واحدهای dispatchable به عنوان منبع انرژی با پاسخ سریع که دارای ظرفیت کافی برای کنترل توان اکتیو و راکتیو هستند. چنین منابعی ممکن است دارای مبدل توان باشند و شامل وسائل ذخیره در طرف DC باشند. یک توربین بادی سرعت متغیر که از طریق یک مبدل پشت به پشت به سیستم قدرت متصل است، از این نوع است. منابع nondispatchable به تغییرات توان اکتیو و راکتیو در طول حالت گذرا به کندی پاسخ می دهند، به عنوان یک منبع غیر قابل کنترل عمل کرده و به مقدار زیادی به منبع اولیه انرژی خود وابسته هستند. یک مثال برای این مورد توربین گازی با پاسخ زمانی msec ۵۰ تا چند ثانیه است. توربین بادی سرعت ثابت و منابع فتوالکتریک نیز از این دسته هستند.

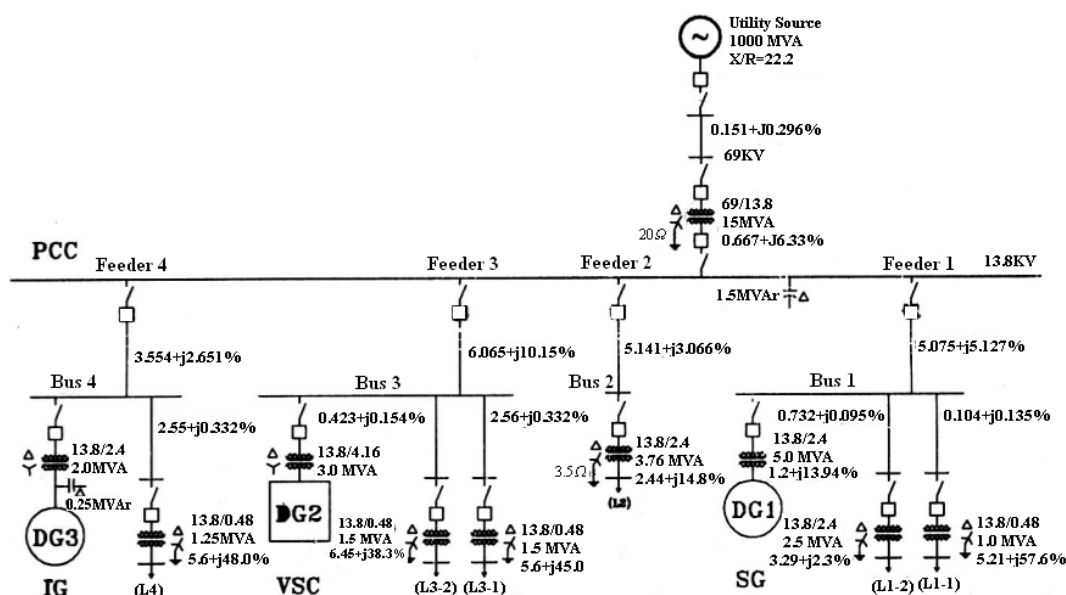
در ادامه ی این فصل ابتدا به بررسی نتایج شبیه سازی یک میکرو شبکه با قابلیت عملکرد مستقل از شبکه ی اصلی و مجهز به واحد های dispatchable می پردازیم.

در قسمت دوم به بررسی و شبیه سازی یک میکرو شبکه با قابلیت عملکرد موازی با شبکه ی اصلی و مجهز به واحد های nondispatchable می پردازیم.

3-1: بررسی نتایج شبیه سازی یک میکرو شبکه با قابلیت عملکرد مستقل از شبکه ی اصلی و مجهز به واحد های dispatchable [۴]

3-1-1: سیستم مورد مطالعه

سیستم مورد مطالعه در این بخش در شکل (3-1) مشاهده می گردد. این شکل دیاگرام تک خطی یک سیستم توزیع 13.8 kv را نشان می دهد که از طریق یک خط شعاعی 69 kv به شین بی نهایت وصل است که این سیستم توزیع تشکیل یک میکروشبهه می دهد. شین بی نهایت با یک منبع ولتاژ 69 kv به ظرفیت اتصال کوتاه 1000 MVA مدل سازی شده است.



شکل (3-1): دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه

شبکه اصلی با یک منبع ولتاژ سه فاز 69 KV با ظرفیت اتصال کوتاه 1000 MVA و نسبت X/R برابر 22/2 مدل شده است. خطوط توزیع و بارهای شبکه با امپدانس های ثابت (عناصر R و L) مدل شده اند. بار شبکه نیز ترکیبی از بارهای خطی و غیرخطی است که توسط چهار شین شعاعی سیستم توزیع، تغذیه می شوند. بار متصل به شین سه بعنوان یک بار صنعتی حساس فرض شده است. میکروشبهه ی این سیستم دارای سه واحد DG است:

DG_1 یک دیزل ژنراتور یا توربین گازی 1/8 MVA است که به سیستم تحریک و گاورنر مجهز شده است. DG_1 با یک ماشین سنکرون مدل شده است. سیستم الکتریکی ماشین بفرم d-q-0 با دو سیم پیچی روتور روی هر محور ارائه شده است. سیستم تحریک و گاورنر نیز در مدل ماشین در نظر گرفته شده است. در هنگام شروع به کار، ژنراتور سنکرون مانند یک منبع با سرعت ثابت رفتار می کند. بعد از 0/3 ثانیه مدل ماشین فعال می گردد و در زمان 0/45 ثانیه سرعت روتور با گاورنر تنظیم می گردد.

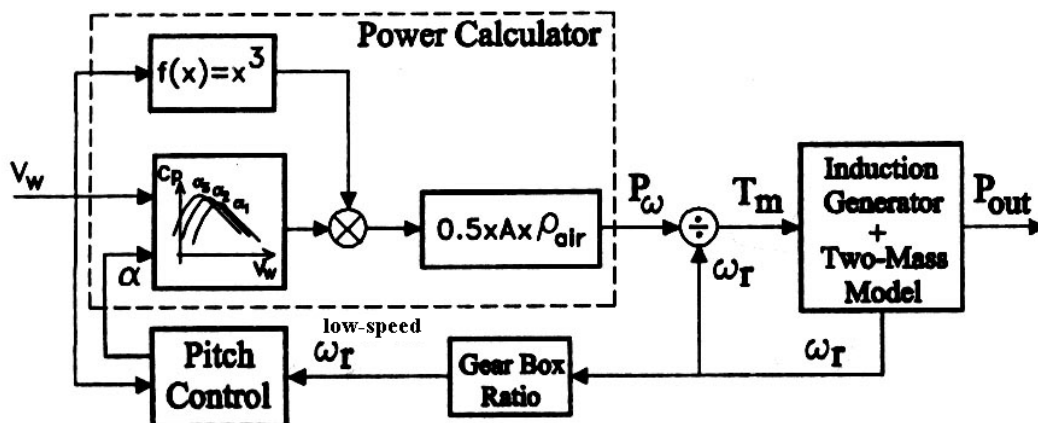
DG_2 یک واحد الکترونیکی به قدرت 2.5 MVA است (VSC). DG_2 با یک سیستم VSC سه فازه ارائه گردیده است. هر ترمینال کانورتر با یک شاخه RL سری به شبکه متصل گردیده است. سیستم کنترلی کانورتر به فرم d-q-0 ارائه گردیده است و از مفهوم توان لحظه ای برای کنترل تغییرات توان اکتیو و راکتیو سیستم استفاده می کند. طرف DC کانورتر با یک منبع ولتاژ DC ثابت ارائه گردیده است.

DG_3 نیز یک توربین بادی سرعت ثابت است که توان خروجی آن در 1/25MVA تنظیم شده است و از طریق یک ژنراتور القایی به شبکه متصل شده است. DG_3 با یک ژنراتور القایی قفس سنجابی 2/4 KV همراه با قسمت مکانیکی دو تکه ای ارائه گردیده است که با یک ترانس افزایشنده با اندوکتانس نشتی 8% به شبکه متصل است.

3-1-1-1 مدل توربین بادی

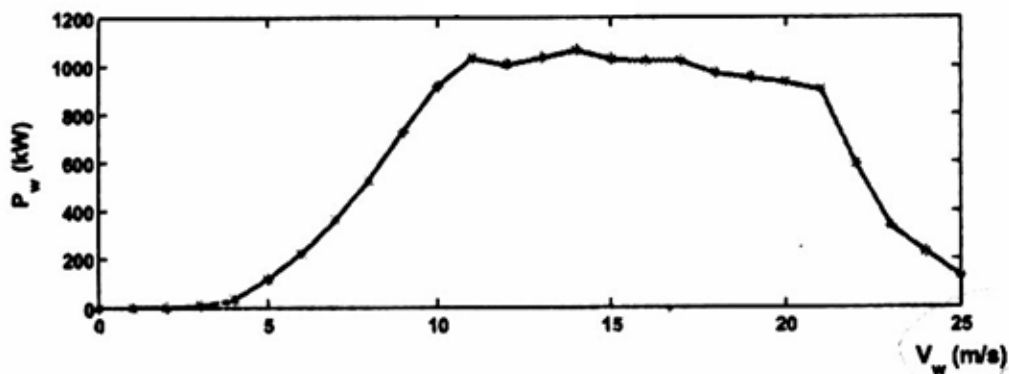
قسمت الکتریکی DG_3 با یک ژنراتور القایی قفس سنجابی متصل به شبکه ارائه گردیده است. قسمت مکانیکی DG_3 شامل توربین بادی، گیربکس، روتور ژنراتور و شافتهای سرعت پایین و بالا، با یک سیستم دینامیکی دو قسمتی ارائه شده است. ممان اینرسی توربین بادی و شافت سرعت پایین، همچنین لختی شافت سرعت پایین به طرف ژنراتور (سرعت بالا) منتقل شده است.

ماهیت متغیر سرعت باد و انعکاس آن روی گشتاور مکانیکی ورودی ژنراتور القایی بوسیله شبیه ساز سرعت باد مدل شده است. شبیه ساز سرعت باد در شکل (۲-۳) نشان داده شده است که از یک بلوک محاسبه گر توان همراه با بلوک کنترل زاویه شیب پره ها تشکیل شده است.

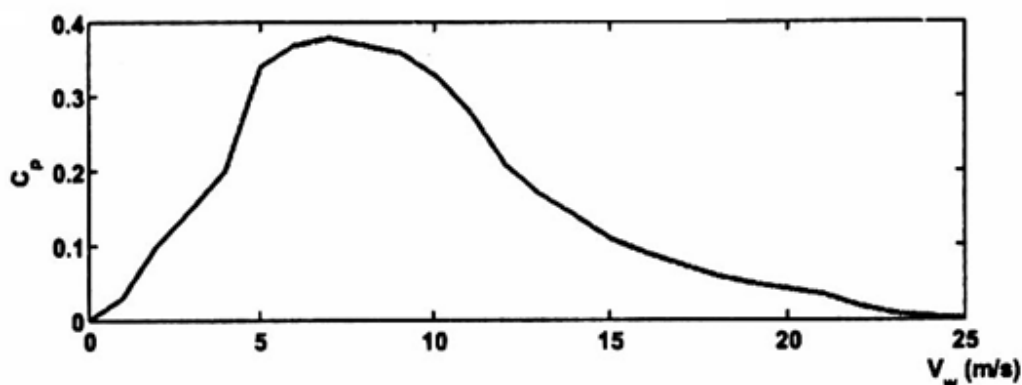


شکل (۲-۳): شبیه ساز سرعت باد

بلوک محاسبه گر توان از یک سری مشخصه های $C_p-\lambda w$ استفاده می کند، در حالیکه C_p ضریب اجرا و λw نسبت سرعت توربین است تا توان خروجی از باد را تعیین کند. توان خروجی (P_w) یک تابع غیرخطی از سرعت باد (V_w) و زاویه شیب پره ها (α) است که α بوسیله بلوک کنترل زاویه شیب محاسبه می گردد شکل (3-3) ملاحظه شود. زاویه شیب پره ها بر اساس تغییرات سرعت باد تنظیم می شود تا انحراف سرعت شافت سرعت پایین، در یک محدوده ی قابل قبول حفظ شود. بنابراین توان تولیدی توربین بادی، برای سرعت های بالای سرعت نامی توربین، تقریباً به مقدار نامی محدود شده است. منحنی ($C_p-\lambda w$) نتیجه شده توربین بادی معرفی شده، با فرض یک یا دو درصد تغییرات در سرعت ژنراتور القائی و منحنی توان وابسته برای محدوده ی وسیعی از سرعت باد در شکل (۳-۴) نشان داده شده است.



شکل (3-3): مشخصه توان باد بر حسب سرعت باد



شکل (3-4): مشخصه ضرایب اجرا بر حسب سرعت باد

3-1-1-2: مدیریت توان میکرو شبکه

یک شبکه میکرو با منابع DG یک سیستم توزیع است که شامل بیش از دو واحد DG است. واحدهای DG هم در حالت وصل به شبکه اصلی و هم در حالت عملکرد مستقل بارهای محلی را تغذیه می کنند. بدون توجه به عملکرد شبکه میکرو، مدیریت توان اکتیو و راکتیو واحدهای DG روی پایداری ولتاژ- زاویه، کیفیت توان و سرویس به مصرف کنندگان تأثیر مستقیم دارد. در یک سیستم میکرو شبکه هیچ یک از واحدهای DG بعنوان واحد ذخیره عمل نمی کنند در حالیکه نیروگاههای بزرگ بطور دوره ای در حالت ذخیره قرار می گیرند. در سیستم میکرو شبکه معرفی شده واحد DG_1 پاسخ نسبتاً آهسته تری به کنترل توان اکتیو و راکتیو در مقایسه با واحد دارای مبدل توان می دهد (DG_2). واحد توربین بادی (DG_3) بوسیله منبع باد محدود شده است. بنابراین DG_1 و DG_3 هر دو منابع non-Dispatchable هستند که نمی توانند به سرعت به مدیریت توان سیستم در طول حالت گذرا و اغتشاشات بزرگ پاسخ دهند. تنها DG_2 به عنوان یک منبع Dispatchable فرض شده است که دارای ظرفیت مناسب برای فراهم کردن کنترل مستقل روی تولید توان اکتیو و راکتیو است. در طول عملکرد حالت ماندگار، استراتژی مدیریت توان کل سیستم بر اساس تعادل توان بهینه در میان همه واحدهای DG تعیین می گردد.

در حالت وصل به شبکه اصلی واحدهای DG بایستی بارهای محلی را تغذیه کنند تا شارش توان از طریق سیستم را کوچک کنند. با در نظر گرفتن مشابهت شبکه میکرو با سیستمهای سرویس معمولی، DG_1 و DG_2 توان خروجی ثابتی تولید می کنند و ولتاژ پایانه ای خود را تنظیم می کنند (PV-buses) و DG_3 ماکزیمم توان خروجی از باد را ارسال می کند (منبع PQ متغیر با Q منفی). در این حالت، شین بینهایت به عنوان یک شین شناور عمل می کند که بطور مؤثری روی تقاضای توان اکتیو و راکتیو در طول حالات گذرا یا ناشی از نوسانات توان DG_3 تسلط دارد، و همچنین فرکانس را تثبیت می کند.

در حالت عملکرد مستقل، توان موجود واحدهای DG بایستی تقاضای بار کل میکرو شبکه را جوابگو باشد؛ در غیر این صورت سیستم متحمل افزایش بار می شود تا تولید و مصرف را برابر کند بعلاوه یک استراتژی کنترلی توان اکتیو و راکتیو سریع و قابل انعطاف برای کوچک کردن دینامیک سیستم و میرا کردن نوسانات توان گذرا لازم است، چون در این حالت منبع بی نهایتی موجود نیست. بطور کلی، واحد DG_1 در تغذیه بار حالت ماندگار شبکه میکرو سهم است و به اغتشاشات سیگنال کوچک ناشی از پاسخ آهسته به کنترل توان اکتیو و راکتیو پاسخ می دهد. DG_2 برای اهداف زیر طراحی شده است:

۱- پاسخ اساسی به تغییرات توان گذرا و تغییرات ناگهانی توان راکتیو شبکه میکرو

۲- تغذیه اختلاف میان تقاضای بار و توان تولیدی بوسیله DG_1 و DG_3

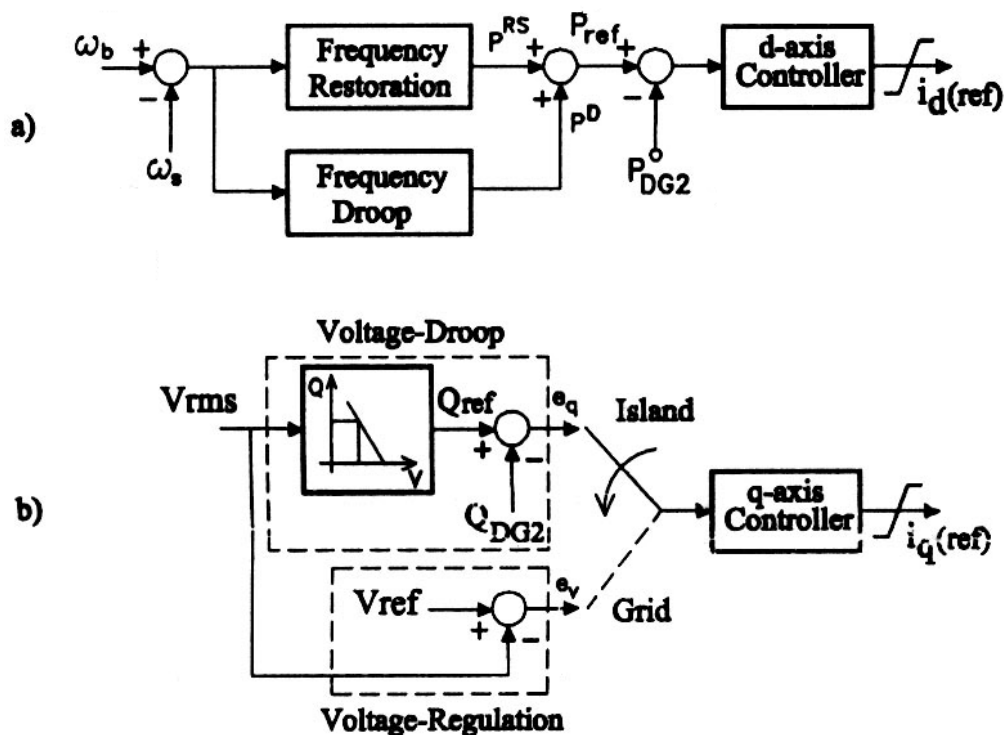
اگرچه مدیریت توان حالت ماندگار سیستم می تواند از طریق ارتباط میان واحدهای DG برای تعیین نقطه کارشان بدست آید و استراتژی مدیریت توان بر اساس پارامترهای اندازه گیری شده محلی انجام بگیرد، اما برای بهبود پاسخ زمانی سیستم، قابلیت اعتماد و کوچک کردن هزینه احتیاج است.

الف) مدیریت توان DG_1 :

DG_1 به سیستم گاورنر و تحریک مجهز شده است. تغییرات ولتاژ ترمینال DG_1 از مقدار مرجع از پیش تنظیم شده بوسیله کنترل ولتاژ میدان اعمال شده به ژنراتور سنکرون جبران خواهد شد. سیستم گاورنر براساس رابطه فرکانس - توان انحرافات سرعت ژنراتور ناشی از اغتشاشات حالت گذرا را تنظیم خواهد کرد.

ب) مدیریت توان DG_2 :

بلوک مدیریت توان DG_2 در شکل (3-5) نشان داده شده است. تولید توان حقیقی DG_2 بر اساس مشخصه افت فرکانس کنترل خواهد شد تا بطور دینامیکی خروجی توان حقیقی واحد را تنظیم کند و یک الگوریتم اصلاح فرکانس تا فرکانس سیستم را بعد از حالت گذرا تنظیم کند. ورودی بلوک فرکانس محلی اندازه گیری شده (W_S) است که با فرکانس پایه سیستم (W_b) مقایسه می گردد (شکل 3-5-a). خروجی کنترلر تولید توان حقیقی سیگنال مرجع برای کنترلر جریان محور d ($i_d(ref)$) بر طبق اختلاف میان خروجی توان حقیقی DG_2 (P_{DG2}) و توان مرجع محاسبه شده است (P_{ref}). استراتژی کنترلر توان راکتیو DG_2 در حالت وصل به شبکه اصلی بر اساس تنظیم ولتاژ شین است و در حالت عملکرد پس از جداسازی به مشخصه افت ولتاژ کلید زنی خواهد شد. (شکل 3-5-b). استراتژی توان راکتیو برای حالت بعد از جداسازی از یک سری منحنی های $V-Q$ استفاده خواهد کرد. خروجی کنترلر تولید توان راکتیو، سیگنال مرجع برای کنترلر جریان محور q ($i_q(ref)$) است. کنترلرهای جریان محورهای d و q به ترتیب برای کنترل مقادیر لحظه ای جریانهای طرف ac مبدل بکار خواهد رفت.



شکل (3-5): بلوک مدیریت توان برای DG_2 (a) کنترلر توان حقیقی (b) کنترلر توان راکتیو

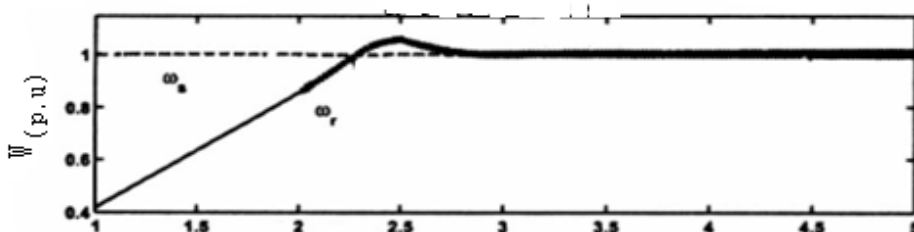
3-1-2: شروع به کار توربین بادی

اهداف این مطالعه عبارتند از:

1- بررسی حالات گذرای ناشی از شروع به کار توربین بادی

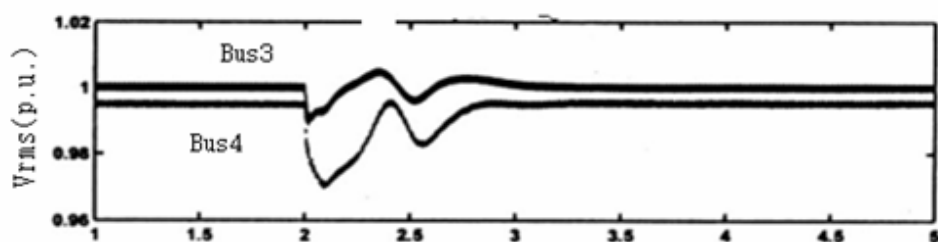
2- بررسی تأثیر توربین بادی روی کیفیت ولتاژ و پایداری سیستم

شکل‌های (۳-۶) و (۳-۷) حالات گذرای ناشی از شروع به کار توربین بادی را نشان می‌دهد. در ابتدا شبکه میکرو در حالت وصل به شبکه اصلی است، در حالیکه تقاضای بار شبکه میکرو بوسیله DG_1 و DG_2 و شبکه اصلی تأمین خواهد شد. تقاضای بار کل شبکه میکرو $3/35$ MW و $1/66$ MVar می‌باشد که به ترتیب $1/22$ MW , $0/06$ MVar و $1/68$ MW , $0/49$ MVar از آن بوسیله DG_1 و DG_2 و بقیه ی آن توسط شبکه اصلی تأمین خواهد شد. روش شروع به کار توربین بادی بر اساس شتاب بدون بار سیستم توربین-ژنراتور تحت یک رژیم افزایشده سرعت باد است که سرعت ژنراتور القایی را افزایش خواهد داد. DG_3 در زمان $t = 2s$ به میکرو شبکه متصل خواهد شد و در این هنگام سرعت ژنراتور به 85% سرعت سنکرون می‌رسد(شکل 3-6).



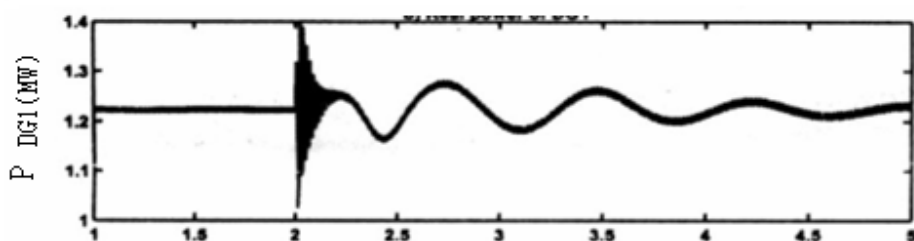
شکل (3-6): سرعت ژنراتور القایی در حین شروع به کار

برای مدت کوتاهی در حالت موتور بعد از شروع به کار عمل می کند تا اینکه در زمان 2/3 ثانیه سرعت ژنراتور از سرعت سنکرون عبور می کند و جهت شارش توان معکوس می گردد. شکل (3-7) تغییرات ولتاژ شین حساس سیستم (شین ۳) و شین DG₃ (شین ۴) را نشان می دهد.

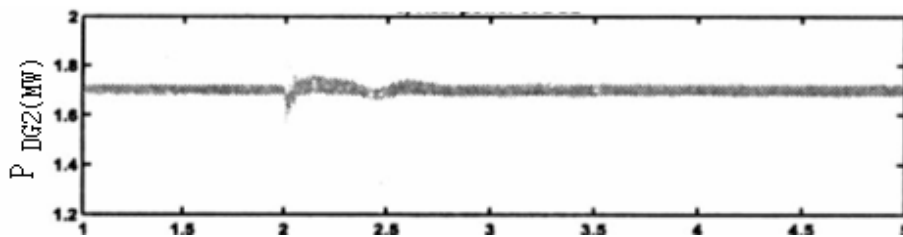


شکل (3-7): تغییرات ولتاژ شین های ۳ و ۴

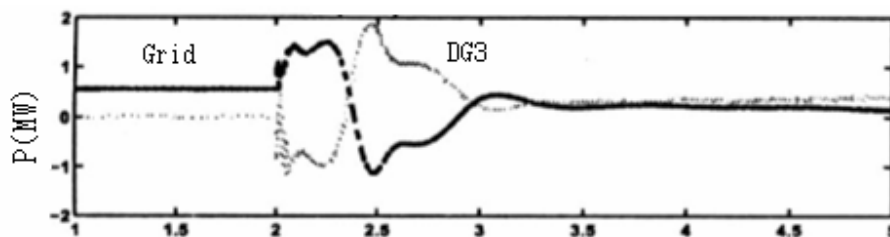
شکل‌های (۳-۸) و (۳-۹) به ترتیب تغییرات توان اکتیو و راکتیو واحدهای DG را نشان می دهد. در حالت وصل به شبکه اصلی، شین اصلی بطور مؤثری به نوسانات توان حاصل از وصل توربین بادی پاسخ می دهد (شکل ۱۰-۳). اگرچه تغییرات توان راکتیو بوسیله DG₂ و شبکه اصلی تطبیق داده خواهد شد. شکل های (۳-۱۱) و (۳-۱۲) ملاحظه شود. بنابراین ولتاژ باس حساس سیستم (باس ۳) و باس DG₃ (باس ۴) به ترتیب در محدوده $\pm 1\%$ و $\pm 3\%$ حفظ می شود.



شکل (۳-۸): توان اکتیو DG1 در حین شروع به کار توربین بادی

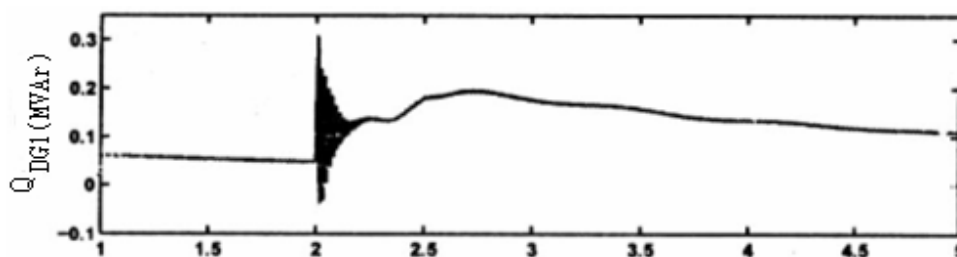


شکل (۳-۹): توان اکتیو DG₂ در حین شروع به کار توربین بادی

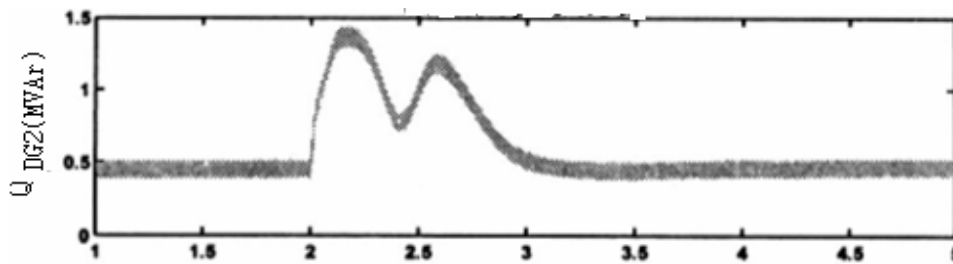


شکل (۳-۱۰): توان های اکتیو واحد DG₃ و Grid در حین شروع به کار توربین بادی

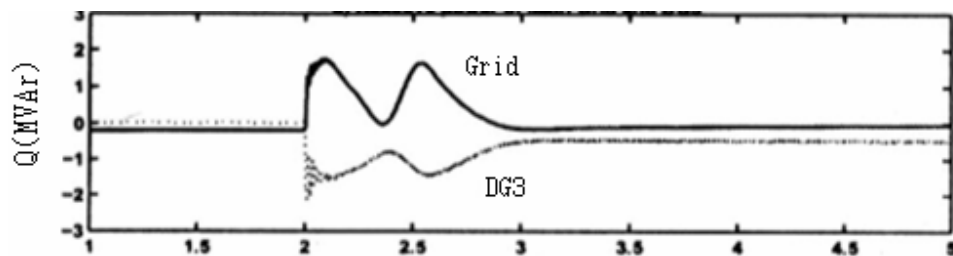
شکل‌های (۳-۱۱) و (۳-۱۲) همکاری DG₂ با شبکه اصلی در جبران توان راکتیو میکرو شبکه در حالت گذرا را نشان می‌دهد، که این نوسانات در کمتر از ۱ ثانیه میرا شده و پایداری سیستم حفظ خواهد شد. بعد از کامل شدن دوره شروع به کار توربین بادی محدوده ی تغییر توان حقیقی تولیدی بوسیله DG₃ در بازه 0/3 تا 0/5 MW باقی می ماند چرا که توان تولیدی آن به نوسانات سرعت باد بستگی دارد که در نتیجه توان ارسال شده از شبکه را تغییر می دهد.



شکل (۳-۱۱): توان راکتیو واحد DG₁ در حین شروع به کار توربین بادی



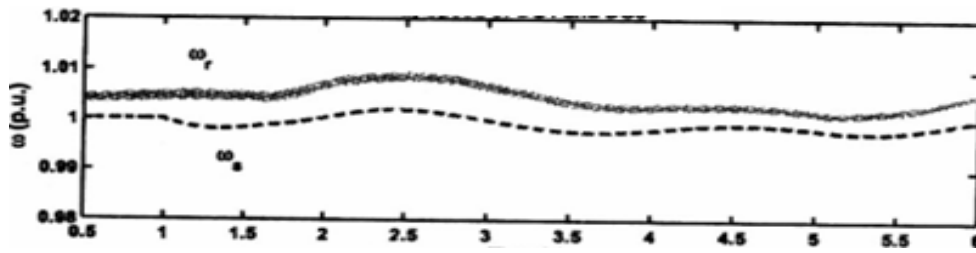
شکل (۳-۱۲): توان راکتیو واحد DG₂ در حین شروع به کار توربین بادی



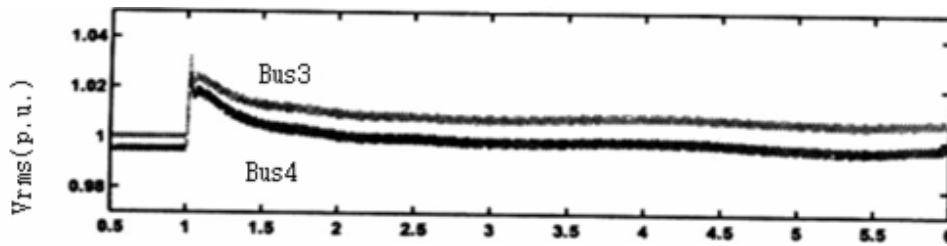
شکل (۳-۱۳): توان های راکتیو واحد DG₃ و Grid در حین شروع به کار توربین بادی

3-1-3: جدا سازی میکرو شبکه از شین بی نهایت (تشکیل جزیره ی از پیش تعیین شده):

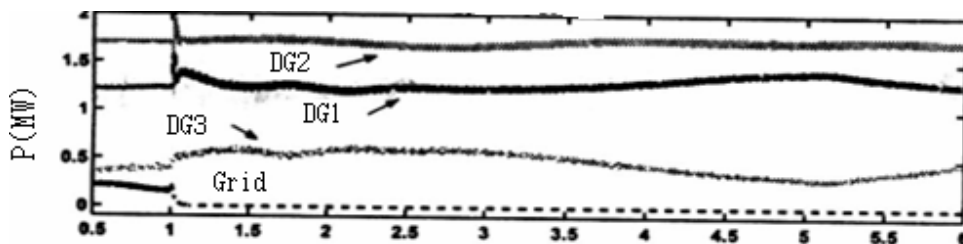
هدف از این مطالعه بررسی رفتار گذرای میکرو شبکه دارای منابع DG، برای یک تشکیل جزیره از پیش تعیین شده است. قبل از جدا سازی، DG₁ و DG₂ به ترتیب توان های 1/22 MW و 1/68 MW را تولید می کنند در حالی که اختلاف میان توان تولیدی واحد DG₃ و تقاضای بار به میزان 3/35 MW می باشد که این مقدار توان از شین اصلی وارد شبکه می شود. در زمان t=1 s فرمان قطع بریکر های روی خط 69-KV (CB_S)، صادر خواهد شد. شکل (۳-۱۵) نشان می دهد که به علت تغییر استراتژی کنترل توان راکتیو DG₂ از مشخصه تنظیم ولتاژ به افت ولتاژ، ولتاژ شین ها به طور اساسی افزایش خواهد یافت. اگرچه تغییرات ولتاژ کمتر از 2% است. شکل های (۳-۱۶) و (۳-۱۷) همچنین سهم توان واحدهای DG را بعد از تشکیل جزیره بر اساس مدیریت توان اتخاذ شده نشان می دهد. از اینرو تغییرات فرکانس سیستم جدا شده قابل توجه نیست (شکل (۳-۱۴)). در طول عملکرد حالت جزیره، خروجی توان DG₁ بر اساس تغییرات خروجی توان DG₃ و ناشی از تغییرات سرعت باد است که باعث تغییر سرعت ژنراتور سنکرون خواهد شد.



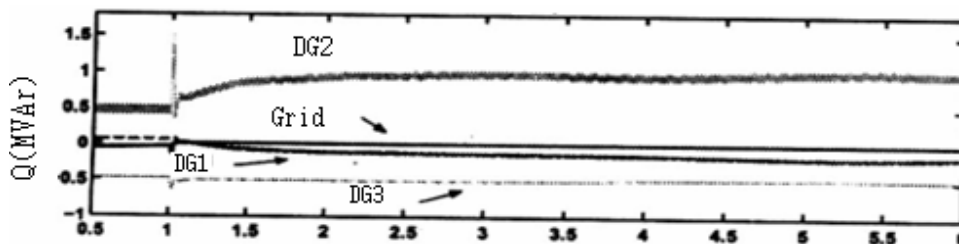
شکل (۳-۱۴): تغییرات فرکانس سیستم جدا شده



شکل (۳-۱۵): ولتاژ شین های ۳ و ۴ در تشکیل جزیره از پیش تعیین شده در زمان ۱ ثانیه



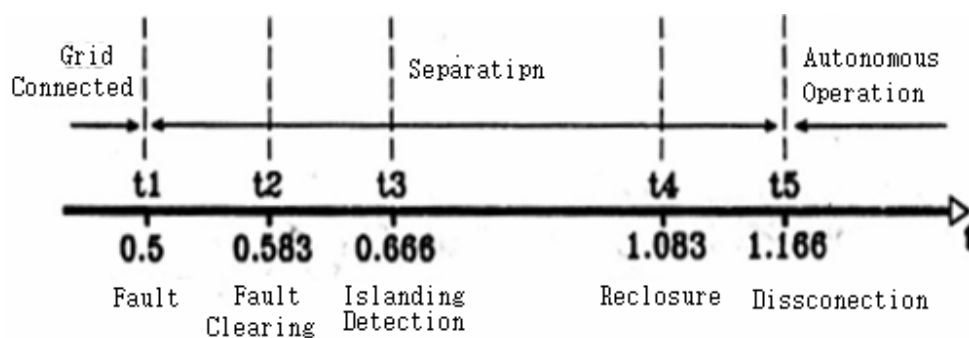
شکل (۳-۱۶): توان اکتیو واحدهای DG بعد از تشکیل جزیره بر اساس مدیریت توان اتخاذ شده



شکل (۳-۱۷): توان راکتیو واحدهای DG بعد از تشکیل جزیره بر اساس مدیریت توان اتخاذ شده

3-1-3: خطای سه فاز خط به زمین (L-L-L-G)

در این قسمت یک تشکیل جزیره ناخواسته میکرو شبکه، ناشی از خطای بوجود آمده و عمل کردن کلیدها بررسی خواهد شد. یک توالی زمانی کلی برای خطا، که با استراتژی حفاظتی سیستم توزیع همراه است، در شکل (۱۸-۳) به تصویر کشیده شده است.



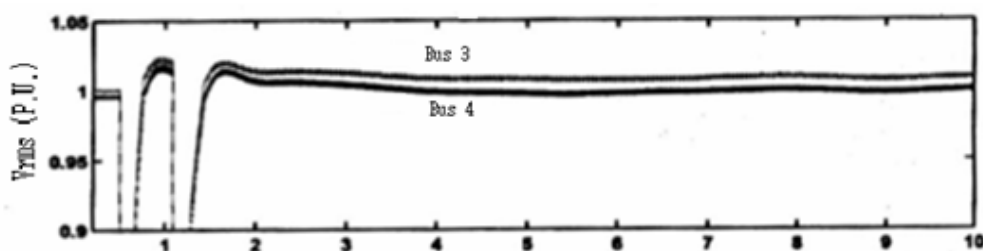
شکل (۱۸=۳): توالی زمانی خطا برای تشکیل جزیره

فرض بر این است که خطای دائمی L-L-L-G در خط 69-KV در زمان $t=0/5s$ اتفاق می افتد. خطا بوسیله عملکرد کلیدها در هر دو پایانه خط در ۵ سیکل بعد از آغاز خطا یعنی در زمان $t=0/583s$ بر طرف می شود و یک میکرو شبکه ناشی از تشکیل جزیره تصادفی تشکیل خواهد شد. پدیده تشکیل جزیره ۵ سیکل بعد از باز شدن بریکرها در زمان $t=0/666 s$ آشکار می گردد. این پدیده استراتژی کنترلی توان واحدهای DG را به حالت تشکیل جزیره تغییر خواهد داد که به موجب آن کنترل توان راکتیو DG₂ در مشخصه افت ولتاژ قرار خواهد گرفت. کلیدهای خط 69 KV دارای رکلوزرهای اتوماتیک هستند و سعی می کنند تا میکرو شبکه را ۳۰ سیکل بعد از بر طرف شدن خطا به شبکه اصلی در زمان $t=1/083 s$ وصل کنند. در مدت زمان پایداری خطا، رکلوزرها موفق به وصل مدار نخواهند شد و در زمان $t=1/166 s$ میکرو شبکه از شبکه اصلی جدا خواهد شد. در اینجا تنها یک عمل رکلوزر در نظر گرفته شده است، اگرچه در بعضی از موارد بالا سه عمل رکلوزر متوالی ناموفق وجود خواهد داشت. بریکرها بعد از آخرین عمل ناموفق رکلوزرها در حالت باز نگه داشته می شوند تا سیستم بازیابی شود و بعد از آن بطور دستی وصل گردد.

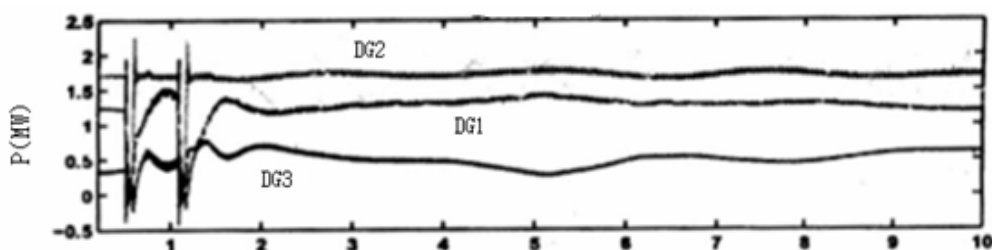
شکل (۱۹-۳) حالات گذرای سیستم را در زمان تشکیل جزیره ناخواسته نشان می دهد. شرایط عملکرد قبل از خطای سیستم، مشابه مورد تشکیل جزیره از پیش تعیین شده است. در مدت زمان پایداری خطا، ولتاژ شین ها به

شدت افت می کند و کنترل توان راکتیو DG_2 به مقدار آستانه خود می رسد (شکل (۳-۲۱)). باید توجه شود که از لحاظ جریان خطا، DG_3 هیچ سهمی در جریان خطا ندارد و DG_2 بعلت واسطه ی الکترونیکی یک حد ماکزیمم 50% بالای محدوده ی خود دارد.

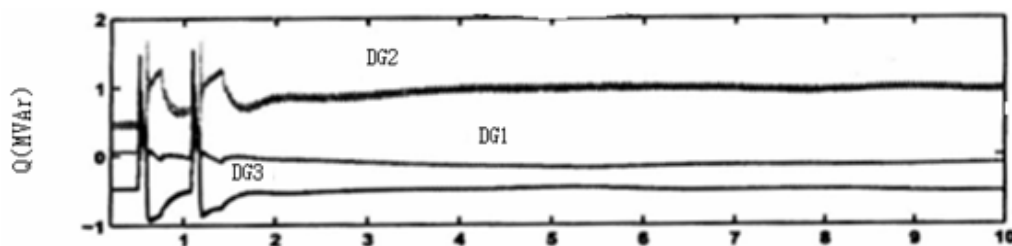
اگرچه DG_1 بطور اساسی می تواند تا ۱۰ برابر میزان نامی خود به شبکه توان راکتیو تزریق کند، اما بعد از رفع خطا عمل کنترلی واحدهای DG در نهایت مقدار ولتاژها را به مقدار نرمال خود بر می گرداند. بعلت پاسخ سریع واحد DG_2 به تغییرات توان راکتیو میکروشبکه، تغییرات ولتاژ شین ها در کمتر از 2% مقدار نامی آن ها حفظ می شود. شکل های (۳-۲۰) و (۳-۲۱) سهم توان اکتیو و راکتیو هر یک از واحدهای DG بعد از خطا را نشان می دهد. استراتژی مدیریت توان اکتیو و راکتیو دینامیکی سیستم و عمل کنترل سریع DG_2 ، حتی بعد از خطای L-L-G شدید، پایداری میکروشبکه را حفظ می کند و ولتاژ باسها را نیز تنظیم می کند.



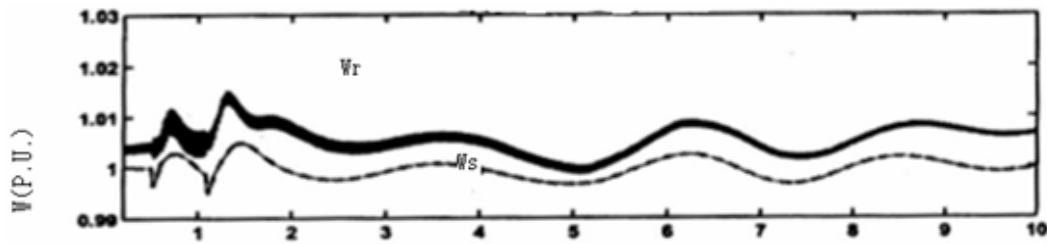
شکل (۳-۱۹): افت ولتاژ شین ها در طول پایداری خطا



شکل (۳-۲۰): سهم توان اکتیو هر یک از واحدهای DG بعد از وقوع خطا



شکل (۳-۲۱): سهم توان راکتیو هر یک از واحد های DG بعد از وقوع خطا



شکل (۳-۲۲): تغییرات فرکانس سیستم بعد از وقوع خطا

3-2: بررسی و شبیه سازی یک میکرو شبکه با قابلیت عملکرد موازی با شبکه ی اصلی و مجهز به واحد های nondispatchable

3-2-1: سیستم مورد مطالعه

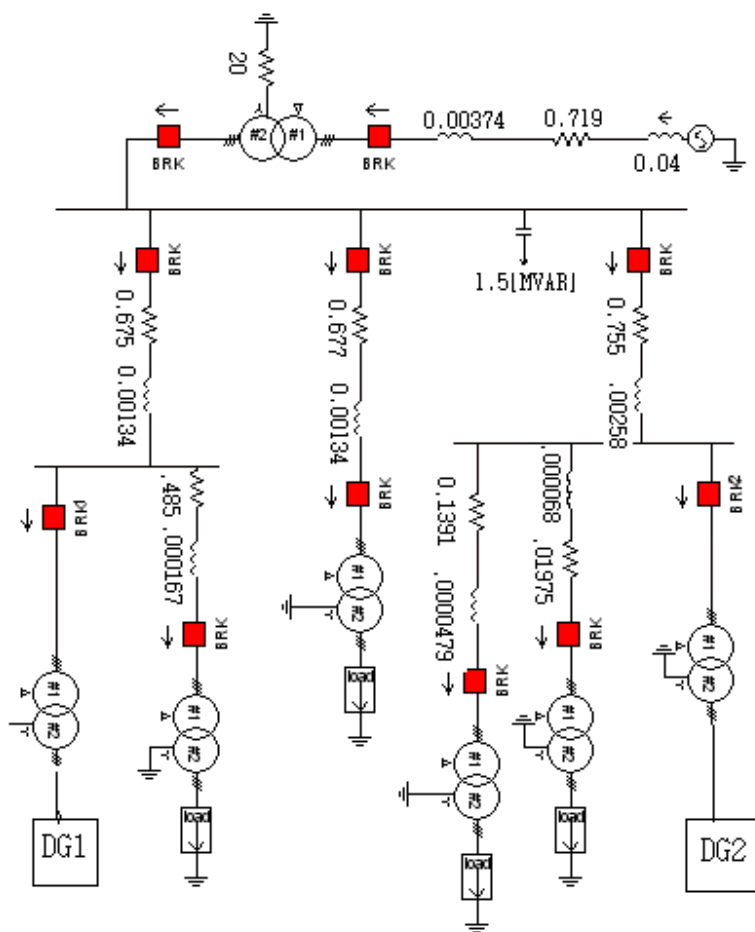
سیستم بررسی شده در این قسمت، یک سیستم توزیع 13.8 KV است که از طریق یک خط شعاعی 69 KV به شین بی نهایت وصل است (شکل ۳-۲۳). شین بی نهایت با یک منبع ولتاژ سه فاز 69 KV با ظرفیت نامی 1000 MVA نمایش داده شده است. امپدانس داخلی منبع نیز یک اندوکتانس ثابت انتخاب شده است. خطوط توزیع و امپدانس های داخلی ترانس های شبکه با امپدانس های سری و ثابت (عناصر R و L) مدل شده اند.

میکرو شبکه دارای دو واحد DG است که هر دو واحد کاملاً مشابه یکدیگرند. هر یک از دو واحد تولید پراکنده، شامل یک توربین بادی با سرعت ثابت است که توان خروجی آن در ۳۵/۲ MVA تنظیم شده است و از طریق یک ژنراتور سنکرون به شبکه متصل شده است. سیستم الکتریکی ماشین سنکرون بفرم d-q-0 با دو سیم پیچی روتور روی هر محور ارائه شده است. سیستم تحریک و گاورنر نیز در مدل ماشین در نظر گرفته شده است. بار سیستم نیز یک ترکیب از بارهای خطی و ثابت است که توسط چهار فیدر شعاعی سیستم توزیع تغذیه می شوند.

قبل از وصل واحد های DG، شبکه در حالت کار عادی به سر می برد. در این حالت ولتاژ شین های شبکه به ترتیب 13/26, 13/35, 13/4 کیلو ولت برای شین های یک، دو و سه می باشد.

ولتاژ شین اصلی نیز مقدار 13/47 کیلو ولت را دارد. هم چنین در این حالت توان های اکتیو و راکتیو تحویلی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع به ترتیب 4/27 MW و 2/05 MVAR می باشد.

بر روی این شبکه هفت آزمایش شامل وقوع خطا، قطع توربین، وصل توربین، قطع بار، قطع بار و قطع خازن، جدا شدن میکرو شبکه از شین بی نهایت و در نهایت وزش یک تند باد انجام خواهد شد.



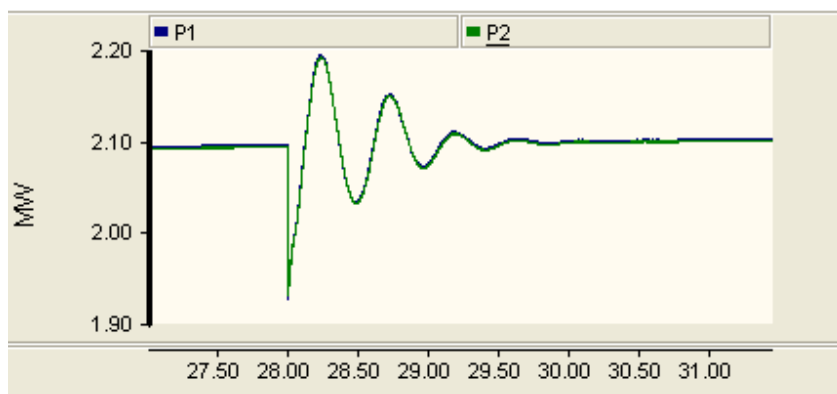
شکل (۲۳-۳): دیاگرام تک خطی سیستم مورد مطالعه

3-2-2: قطع بار

در این قسمت از شبیه سازی اثر قطع یکی از بارها بر عملکرد شبکه، مقادیر توان های اکتیو و راکتیو منابع DG، توان اکتیو و راکتیو تزریقی شین بی نهایت و ولتاژهای شین های شبکه بررسی می شود.

جهت این کار، بار متصل به فیدر شماره ۲ که توان نامی بار متصل به آن $p=1/8 \text{ MW}$ و $Q=0/9 \text{ MVAR}$ می باشد، در لحظه ی $t=28 \text{ s}$ از شبکه جدا می شود. تا لحظاتی قبل از زمان قطع بار شبکه به حالت ماندگار خود رسیده و حالت های گذرای اولیه ی ناشی از وارد شدن منابع DG سبری شده است. یعنی قبل از جدا شدن بار فوق از شبکه، شبکه در حالت کار عادی خود قرار دارد. منابع DG نیز از آغاز شبیه سازی در مدار قرار دارند.

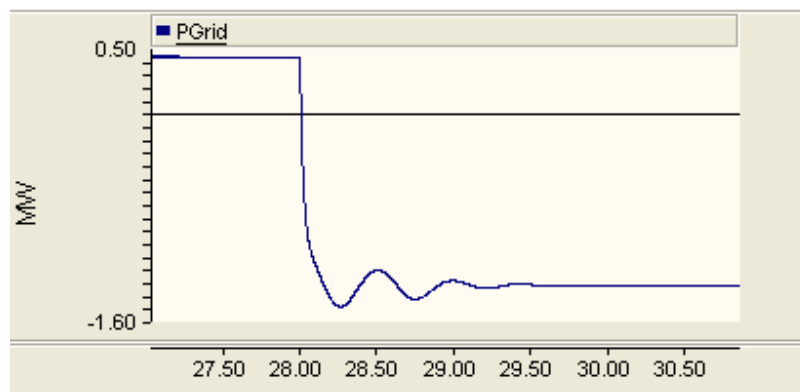
قبل از قطع بار، توان اکتیو تولیدی منابع DG_1 و DG_2 ، مساوی هم بوده و هر کدام توان اکتیو ی برابر $P=2/1 \text{ MW}$ به شبکه ی توزیع، تحویل می دهند. با قطع بار، از شکل (۲۴-۳) مشاهده می گردد توان اکتیو تولیدی منابع DG، در لحظه ی قطع شروع به نوسان کوچکی نموده، بس از مدت زمان دو ثانیه قسمت گذرای آن برطرف شده و شبکه به حالت ماندگار خود می رسد. بیک نوسانات توان در قسمت گذرا برای هر دو واحد $P=2/2 \text{ MW}$ بوده و در حالت ماندگار توان اکتیو تولیدی این منابع مساوی توان تولیدی آنها در زمان قبل از قطع بار یعنی $P=2/1 \text{ MW}$ می باشد.



شکل (۲۴-۳): توان اکتیو تولیدی منابع DG

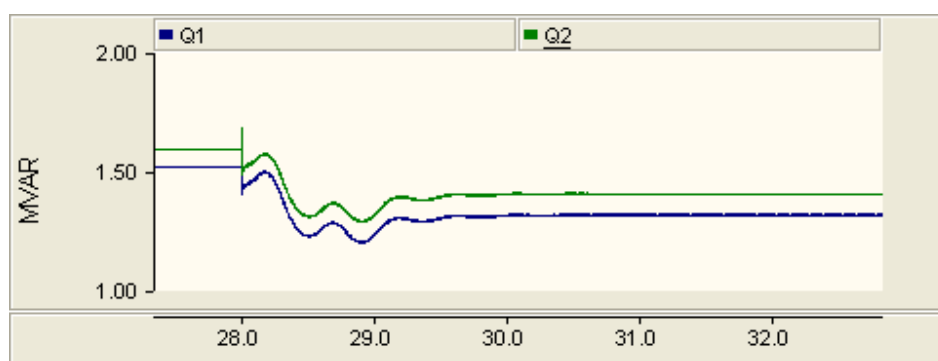
توان اکتیو تزریقی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع، قبل از قطع بار $P=0/45 \text{ MW}$ می باشد که بس از قطع بار طی چند سیکل نوسان گذرا به مدت دو ثانیه، به مقدار جدید $P=-1/32 \text{ MW}$ می رسد. به دلیل کاهش توان اکتیو مصرفی شبکه ی توزیع انتظار می رفت که نه تنها از توان تزریقی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع کاسته

شود، بلکه به دلیل بیشتر بودن توان اکتیو تولیدی منابع DG از مجموع توان مصرفی شبکه ی توزیع، مقداری توان نیز به شین بی نهایت تحویل گردد که این موضوع با توجه به شکل (۳-۲۵) مشاهده می گردد.



شکل (۳-۲۵): توان اکتیو تزریقی شین بی نهایت

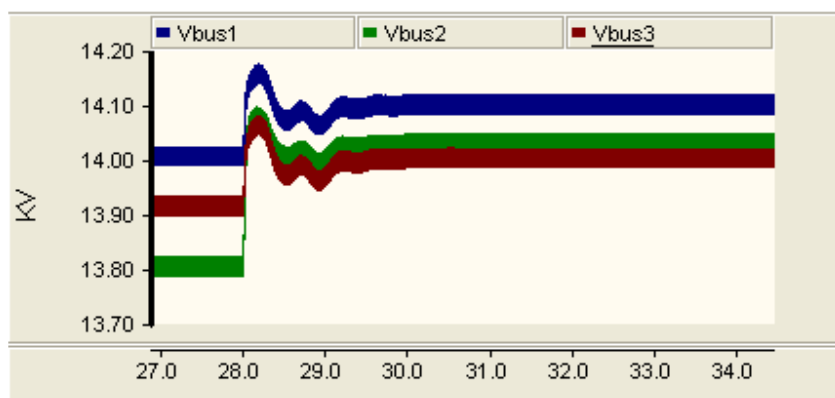
هم چنین در این آزمایش توان راکتیو تحویل شده توسط منابع DG به شبکه ی توزیع، قبل از قطع بار مقادیر $Q_1 = 1.52$ MVAR و $Q_2 = 1.60$ MVAR می باشد. با قطع بار نوسان کوچکی در شکل موج توان راکتیو منابع DG مشاهده شده که دامنه ی آن کوچک و در مدت دو ثانیه میرا خواهد شد و پس از آن به حالت ماندگار خود می رسد. در حالت ماندگار توان های راکتیو تزریقی منابع DG به شبکه، به مقادیر MVAR $Q_1 = 1.32$ و $Q_2 = 1.41$ MVAR می رسد. میزان کاهش توان راکتیو تولیدی منابع DG، مساوی بوده و هر کدام به میزان 0/2 MVAR کاهش دارند که علت آن کاهش توان راکتیو مصرفی توسط شبکه می باشد.



شکل (۳-۲۶): توان راکتیو تولیدی منابع DG

با کاهش توان راکتیو مصرفی شبکه ی توزیع، ولتاژ شین های شبکه اندکی افزایش می یابد. شکل (۲۷-۳) مشاهده گردد. با توجه به این شکل ها ابتدا ولتاژ شین های شبکه در لحظه ی قطع اندکی افزایش دارد، اما منابع DG با کاهش توان راکتیو تولیدی خود (شکل (۲۶-۳))، سعی در بهبود ولتاژ داشته و از افزایش بیش از حد آن جلوگیری می کنند.

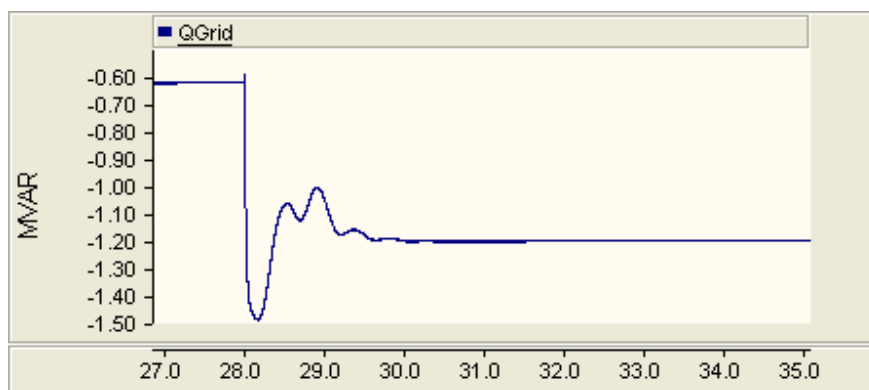
مدت زمان قسمت گذرای موج ولتاژ دو ثانیه بوده، در حالت ماندگار ولتاژ شین های یک به 14/1 کیلو ولت، ولتاژ شین دو به 14 کیلو ولت، ولتاژ شین سه به 14 کیلو ولت و ولتاژ شین بی نهایت به مقدار 14/1 کیلو ولت می رسد.



شکل (۲۷-۳): ولتاژ شین های شبکه

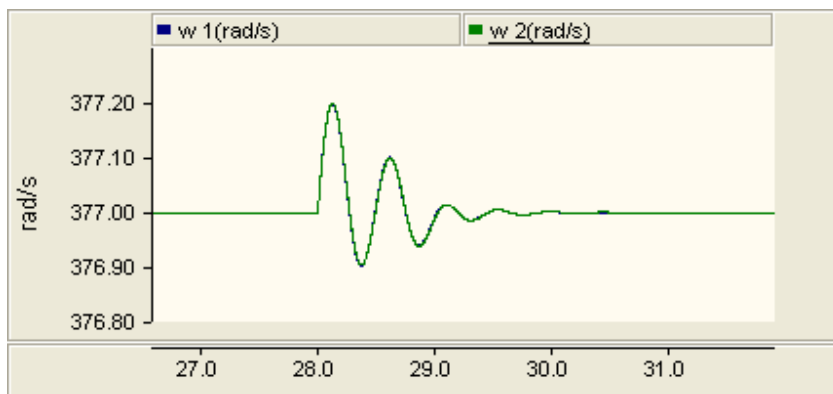
تغییرات توان راکتیو تزریقی شین بی نهایت، مشابه تغییرات شکل موج توان اکتیو این شین می باشد (شکل (۲۸-۳)) و از مقدار در زمان قبل از قطع بار به مقدار در حالت ماندگار می رسد. نوسانات منحنی توان راکتیو کوچک و مدت زمان آن دو ثانیه می باشد.

علت کاهش توان راکتیو تزریقی منابع کاهش توان راکتیو مصرفی بار و در نتیجه کاهش توان راکتیو مصرفی شبکه ی توزیع می باشد.



شکل (۲۸-۳): توان راکتیو تزریقی شین بی نهایت

در شکل موج سرعت مکانیکی محورهای ژنراتورها، تغییر کوچکی مشاهده می گردد و سرعت محورها در زمان قطع بار به $377/2 \text{ rad/s}$ رسیده پس از طی نوسانات خود در مدت زمان دو ثانیه به همان مقدار اولیه ی 377 rad/s می رسد. شکل (۲۹-۳) مشاهده گردد. پس شبکه از نظر فرکانس مشکلی نخواهد داشت.



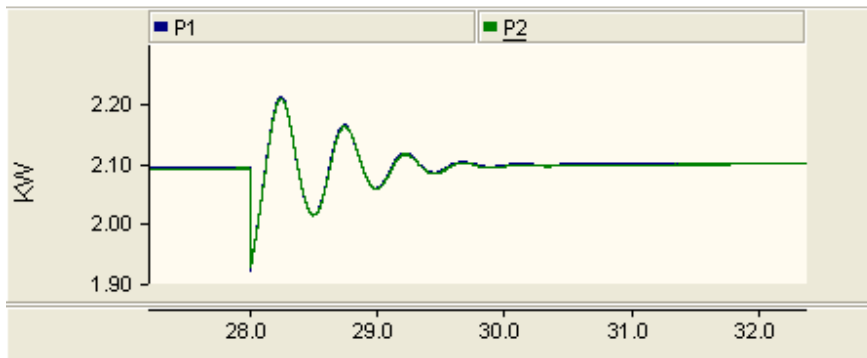
شکل (۲۹-۳): تغییرات سرعت محورهای ژنراتورها

3-2-3: قطع بار و قطع خازن متصل به فیدر

در این قسمت از آزمایشات مشابه قسمت قبلی، در زمان $t=28 \text{ s}$ بار از شبکه جدا و در همان لحظه خازن متصل به شین اصلی شبکه ی توزیع نیز جدا می شود و اثر آن در تغییرات شکل موج های اندازه گیری شده ی شبکه توزیع، به خصوص توان راکتیو تولیدی منابع DG مشاهده می شود.

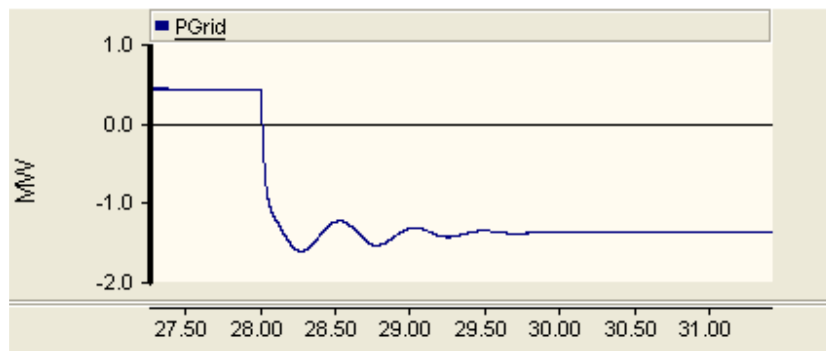
شرایط شبکه و مقادیر پارامترهای اندازه گیری شده یعنی توان های اکتیو و راکتیو منابع DG، ولتاژ شین های شبکه و توان اکتیو و راکتیو تزریقی شین بی نهایت، قبل از اعمال تغییرات در شبکه، مشابه شرایط بررسی شده در قسمت قبلی شبیه سازی است.

با توجه به شکل های (۳۰-۳) مشاهده می شود بعد از قطع همزمان بار و خازن در زمان $t=28 \text{ s}$ تغییرات و نوسانات توان تزریقی اکتیو منابع مشابه قسمت قبلی آزمایش بوده و در حالت ماندگار مقادیر توان ها بدون تغییر می ماند.



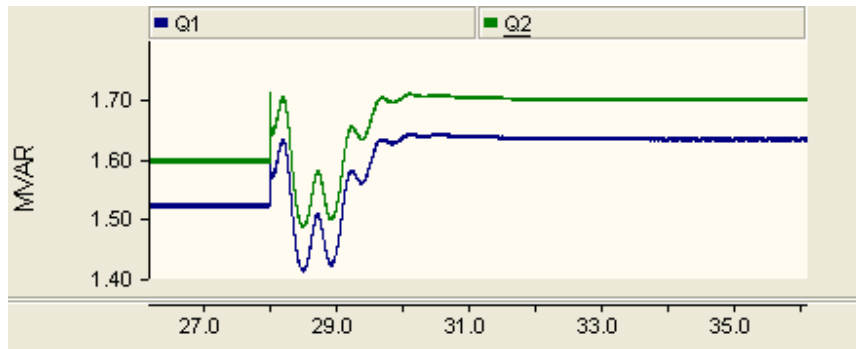
شکل (۳-۳۰): توان اکتیو تولیدی منابع DG

توان اکتیو تزریقی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع، مشابه قسمت قبل، قبل از قطع بار $P = 0/45$ MW می باشد که بس از قطع بار طی چند سیکل نوسان گذرا به مدت دو ثانیه، به مقدار جدید $P = -1/32$ MW می رسد.



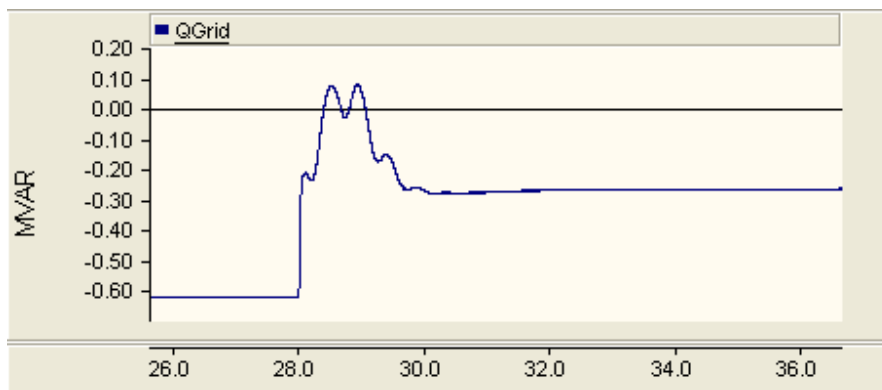
شکل (۳-۳۱): توان اکتیو تزریقی شین بی نهایت

در این آزمایش و از شکل های (۳-۳۲) دیده می شود توان راکتیو تزریقی منابع به شبکه توزیع از مقادیر $Q_1 = 1.52$ MVAR و $Q_2 = 1.60$ MVAR در زمان قبل از قطع بار به مقادیر جدید $Q_1 = 1.64$ MVAR و $Q_2 = 1.7$ MVAR بعد از قطع بار تغییر می کند. نوسانات قسمت گذرا در شکل موج توان های راکتیو به مدت دو ثانیه میرا می شود. در این آزمایش، همان طور که انتظار می رفت، اگر چه با قطع بار توان راکتیو مصرفی شبکه توزیع کاهش یافته است، اما به دلیل قطع بانک خازنی متصل به شین اصلی، مقدار بسیار کوچکی از توان راکتیو تولیدی توسط بانک خازنی در زمان قبل از قطع، بایستی در زمان بس از قطع توسط منابع DG تامین شود که با توجه به نتایج شبیه سازی شکل (۳-۳۲) این موضوع مشاهده می شود.



شکل (۳-۳۲): توان راکتیو تولیدی منابع DG

به دلیل قطع بانک خازنی متصل به شین اصلی، مقداری از توان راکتیو تزریق شده به شین بی نهایت توسط منابع، در حالت ماندگار کاهش می یابد. شکل (۳-۳۳) مشاهده گردد.

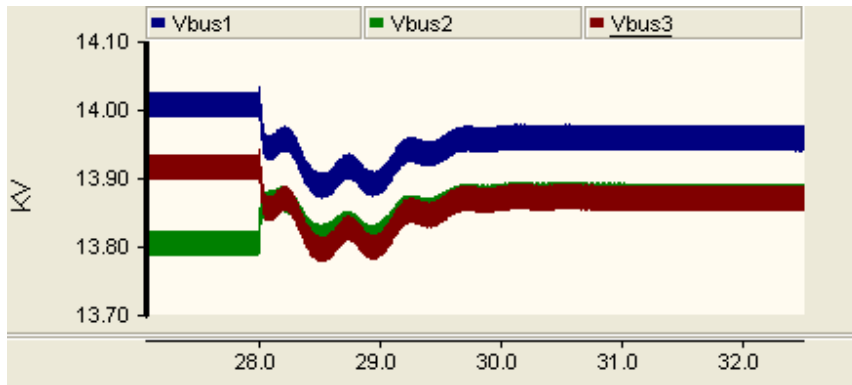


شکل (۳-۳۳): توان راکتیو تزریقی شین بی نهایت

ولتاژ شین های اندازه گیری شده یعنی شین های شماره یک، دو، سه و شین اصلی، در طی مدت زمان دو ثانیه پس از قطع بار در لحظه، نوسان نموده و به حالت ماندگار خود می رسند. در حالت جدید و در حالت ماندگار ولتاژ شین ها به مقادیر زیر می رسد.

13.88 KV و 13/89 KV، 13/9 KV

شکل (۳-۳۴) را ببینید.



شکل (۳-۳۴): ولتاژ شین های شبکه

با توجه به این نتایج قطع خازن موجب بهبود وضعیت ولتاژ شین ها و در نتیجه بهبود وضعیت کل سیستم می شود.

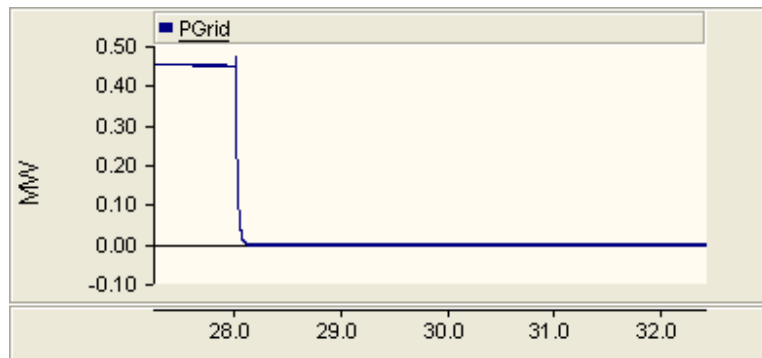
3-2-4: قطع میکروشبکه از شین بی نهایت

در این قسمت، از آغاز آزمایش هر دو منبع به شبکه توزیع و کل شبکه به شین بی نهایت متصل بوده و شبکه در حالت کار عادی خود به سر می برد. توان های اکتیو و راکتیو منابع DG پس از طی نوسانات اولیه در آغاز شبیه سازی به مقادیر $P_1 = 2.1 \text{ MW}$ ، $P_2 = 2.1 \text{ MW}$ ، $Q_1 = 1.52 \text{ MVAR}$ و $Q_2 = 1.60 \text{ MVAR}$ در حالت ماندگار می رسد. توان اکتیو و راکتیو تحویلی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع نیز به ترتیب $P = 0.45 \text{ MW}$ و $Q_1 = -0.62 \text{ MVAR}$ می باشد.

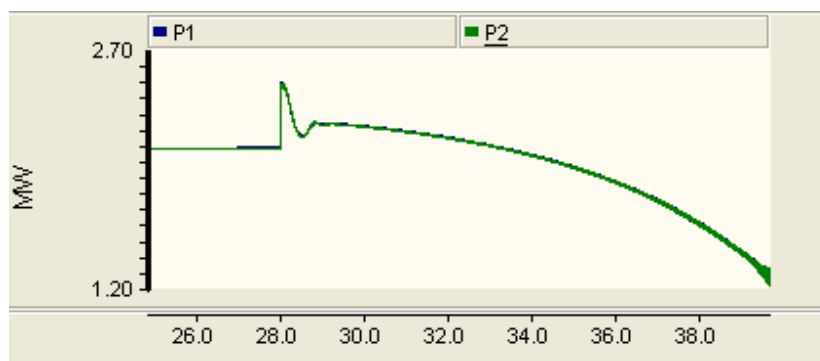
ولتاژ شین های شبکه در مقادیر 14 KV ، $13/82 \text{ KV}$ و $13/93 \text{ KV}$ ، تثبیت شده و سرعت محور های ژنراتور در مقدار ثابت 377 rad/s می باشد.

در زمان $t=28 \text{ s}$ شین بینهایت از شبکه توزیع جدا می شود.

با توجه به شکل موج های (۳-۳۵) مشاهده می شود توان های اکتیو تولیدی منابع با گذشت زمان کاهش می یابد. چون در این حالت حداکثر توان مکانیکی و در نتیجه حداکثر توان الکتریکی خروجی منابع در مقدار $p=2/1 \text{ MW}$ تنظیم شده است. از آنجا که توان منابع DG قادر به پاسخگویی بار شبکه نبوده، سرعت محورهای ژنراتورهای سنکرون با گذشت زمان کاهش یافته (شکل (۳-۳۹)) متناسب با آن توان تولیدی اکتیو منابع تا مرز صفر شدن ادامه می یابد (یعنی شبکه میکرو ناپایدار می شود).

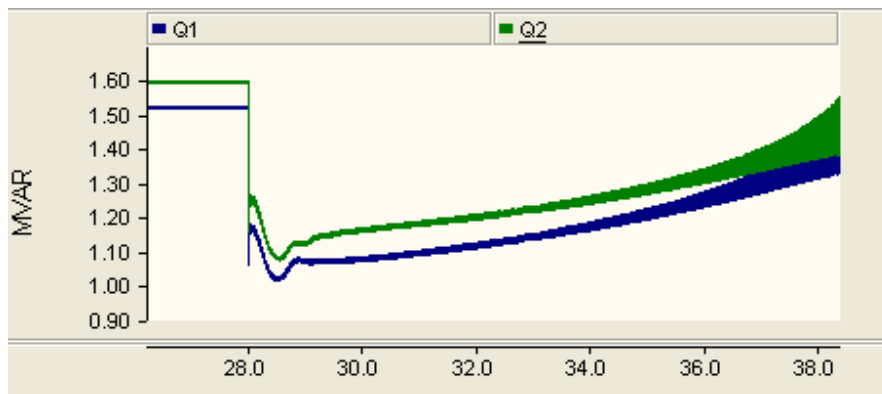


شکل (۳-۳۵): توان اکتیو تزریقی شین بی نهایت



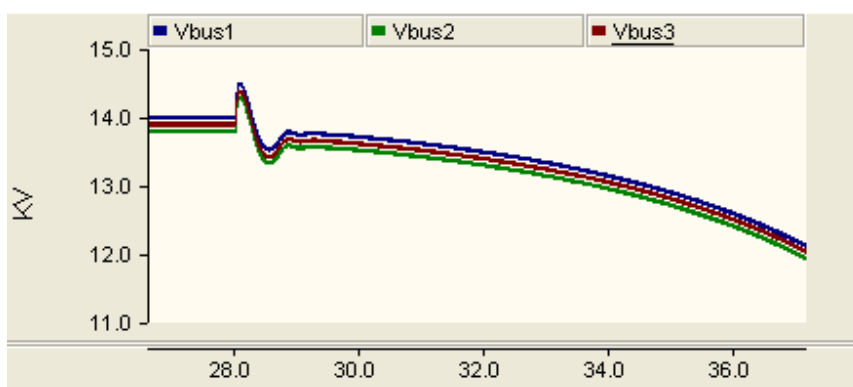
شکل (۳-۳۶): توان اکتیو تولیدی منابع DG

همچنین با توجه به شکل موج های شکل (۳-۳۷) مشاهده می شود، در لحظه جدا شدن شبکه توزیع از شین بینهایت با توجه به افت ولتاژ تمام شین ها (۳-۳۸)، توان تولیدی راکتیو منابع جهت بهبود ولتاژ اندکی افزایش می یابد. این افزایش توان راکتیو منابع به مدت چند ثانیه ادامه یافته و پس از آن به مقدار صفر می رسد.

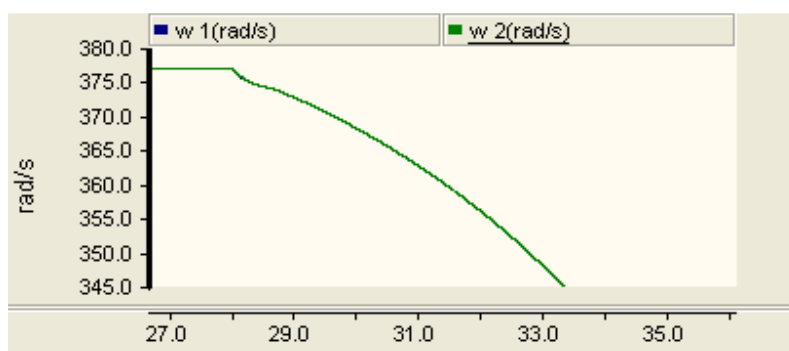


شکل (۳-۳۷): توان راکتیو تولیدی منابع DG

با توجه به این مطب ولتاژ شین ها در لحظه قطع در طی مدت زمان اولیه اندکی افزایش می یابد اما پس از آن افت پیدا می کند. شکل (۳-۳۸) مشاهده شود.

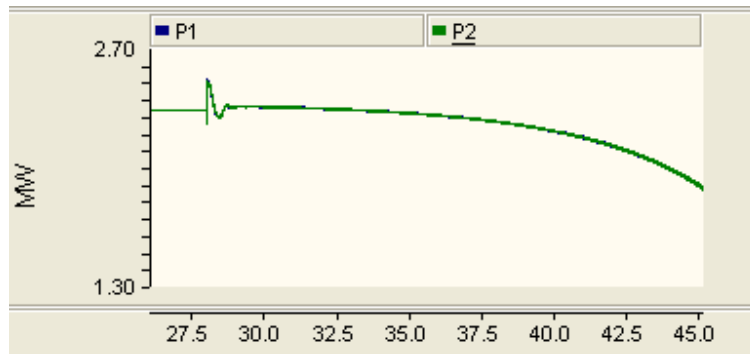


شکل (۳-۳۸): ولتاژ شین های شبکه



شکل (۳-۳۹): تغییرات سرعت محور های ژنراتورها

در ادامه همین آزمایش، توان خروجی ژنراتور را تا حد ممکن افزایش می دهیم. در مدل استفاده شده در این آزمایشات، حداکثر توان خروجی از ژنراتور ها $P=2/35$ MW می باشد. نتیجه ی آزمایش این قسمت مشابه قسمت قبلی بوده (با این تفاوت که توان خروجی ژنراتورها این بار $0/5$ MW افزایش یافته است) و سیستم ناپایدار می شود. شکل (۳-۴۰) مشاهده شود.

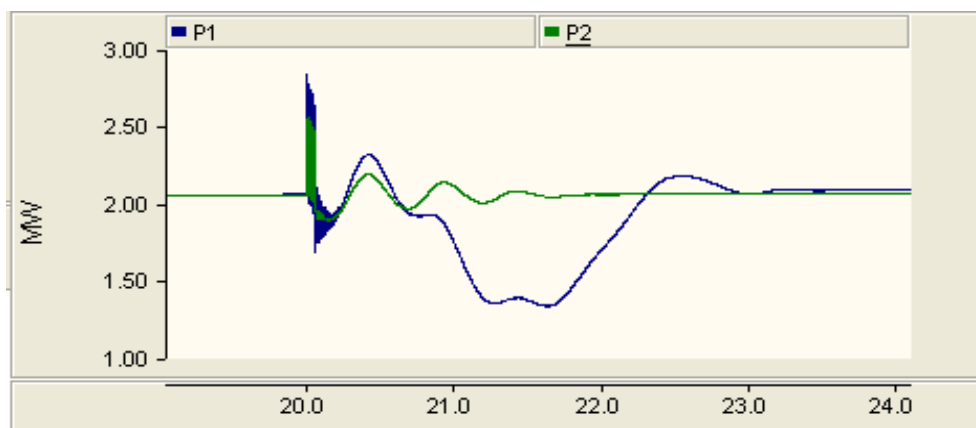


شکل (۳-۴۰): توان اکتیو تولیدی منابع DG

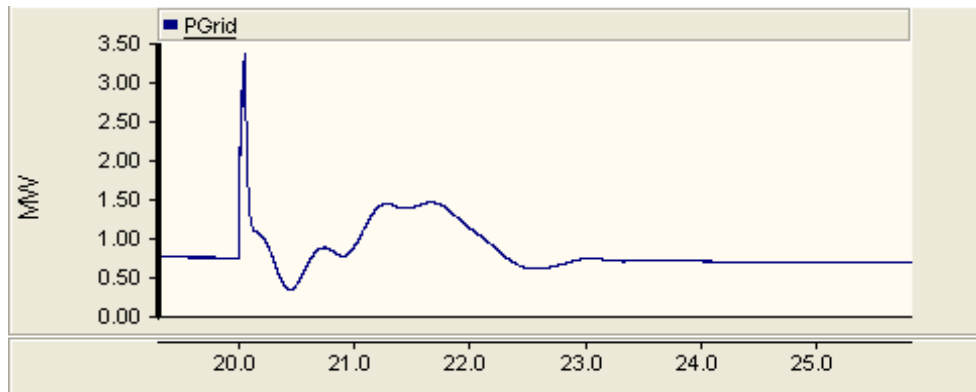
3-2-5: خطای یک فاز در باس شماره یک:

در این قسمت از آزمایش، قبل از وقوع خطا شبکه در حالت کار عادی خود به سر برده و هر کدام از واحدها ی DG توان اکتیو 2/08 MW تولید خواهند کرد.

در زمان $t=20s$ اتصال کوتاه یک فاز به زمین به مدت 0.05 ثانیه در شین شماره یک (شین DG1) رخ می دهد. شکل های (۳-۴۱) نتایج حاصل از شبیه سازی را برای توان های اکتیو تولیدی ژنراتور ها نشان می دهد. مشاهده می شود نوسانات توان هر دو واحد DG، در مدت زمان پایداری خطا، مشابه یکدیگر است ولی چون محل خطا به منبع DG1 نزدیکتر است، دامنه نوسانات واحد شماره یک بزرگتر است. هم چنین در مدت زمان پایداری خطا، فرکانس نوسانات توان بزرگ است و مدت زمان قسمت گذرا سه ثانیه می باشد (شکل (۳-۴۱) را ببینید).



شکل (۳-۴۱): توان های اکتیو تولیدی دو واحد DG



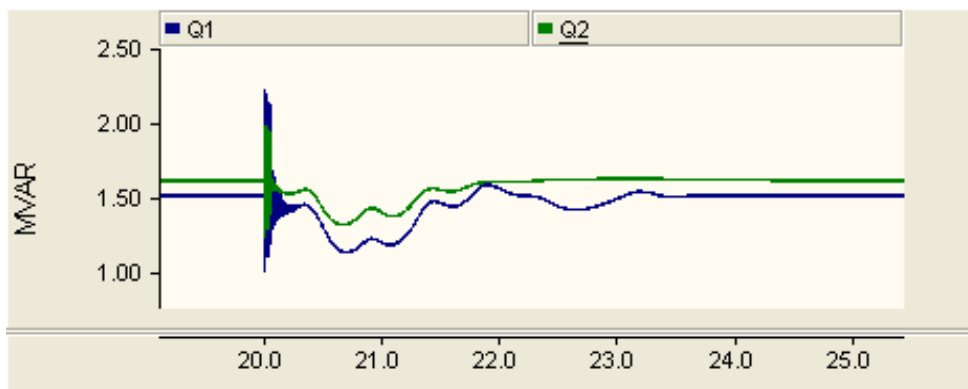
شکل (۳-۴۲): توان اکتیو تزریقی توسط شبکه اصلی

بعد از رفع خطا در زمان $T=20/05$ s، در طی مدت زمان $0/27$ ثانیه توان های اکتیو تولیدی هر دو واحد افت خواهد کرد، و بعد از این زمان توان های تولیدی دو واحد تقریباً بر هم منطبق است و بعد از مدت زمان تقریبی $2/98$ ثانیه به حالت پایدار خود خواهند رسید.

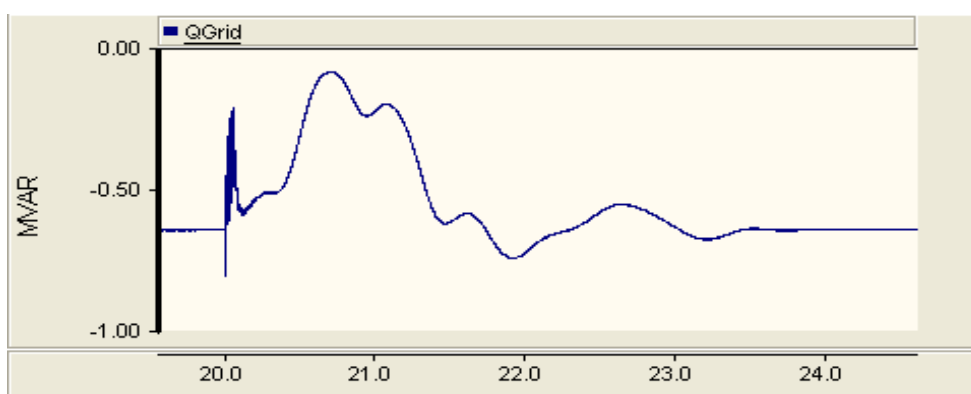
با توجه به شکل موج PGrid (شکل شماره (۳-۴۲)) دیده می شود که توان اکتیو کشیده شده از شین بینهایت توسط شبکه ی توزیع، از مقدار $0/71$ مگا وات به مقدار زیادی جهش نموده است، که در لحظه رفع خطا به مقدار $3/45$ مگا وات نیز خواهد رسید. دلیل آن این است که توان های خروجی دو واحد به علت کندی سیستم گاورنر خیلی سریع به خطا پاسخ نمی دهند، بنابراین جریان خطا از شین بینهایت کشیده می شود.

بعد از رفع خطا نیز توان PGrid به یکباره افت پیدا کرده و طی مدت زمان نسبتاً کوتاهی با فرکانس کوچک به حالت ماندگار رسیده و در این حالت به مقدار اولیه ی خود در زمان قبل از خطا خواهد رسید.

به دلیل اینکه ولتاژهای پایانه ای دو واحد DG در مقدار $1/05$ PU تنظیم شده است، قبل از وقوع خطا، جهت شارش توان راکتیو از سمت میکروشبکه به سمت شین بی نهایت است و مقدار آن $0/88$ MVar میباشد (شکل (۳-۴۳) مشاهده شود).



شکل (۳-۴۳): توان های راکتیو تولیدی دو واحد DG

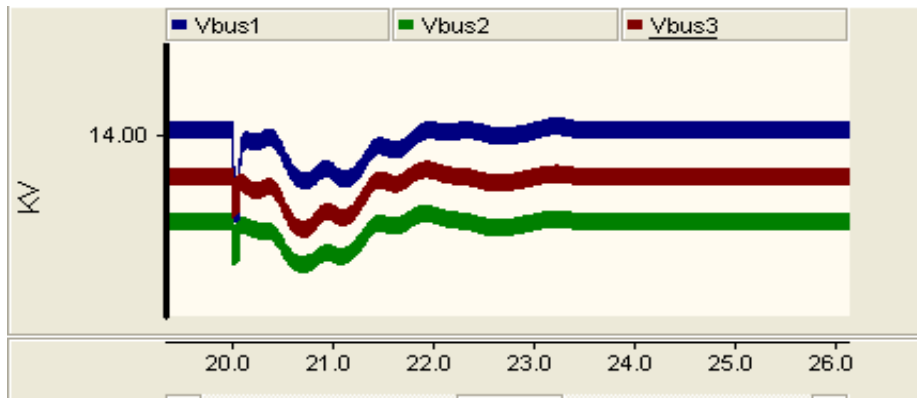


شکل (۳-۴۴): توان راکتیو تزریقی توسط شبکه اصلی

بعد از وقوع خطا همان طور که از شکل (۳-۴۴) مشاهده می گردد توان تزریقی راکتیو شین بینهایت به شبکه ی توزیع (QGrid)، با طی نوساناتی با فرکانس بزرگ، شروع به مثبت تر شدن (افزایش) می کند، که نشان دهنده ی کاهش توان تزریقی از واحد های DG به شین بینهایت است.

چون با شروع خطا توان های تزریقی دو واحد سعی در حفظ ولتاژ پایانه ای دارند و در نتیجه توان راکتیو کمتری به شین بینهایت تزریق می کنند (شکل (۳-۴۵) را ببینید). بعد از رفع خطا تداوم حالت گذرای در این شکل موج مشاهده می شود به طوریکه تا زمان میرا شدن، این نوسانات دارای مقدار متوسط بزرگتری نسبت به حالت کار عادی هستند.

با وقوع خطا ولتاژ شین ها نیز دچار حالت گذرای خواهد شد، به طوری که ولتاژ شین یک که در آن خطا رخ داده است، دارای کاهش شدیدتری نسبت به ولتاژ شین دو وسه است (شکل (۳-۴۵)).

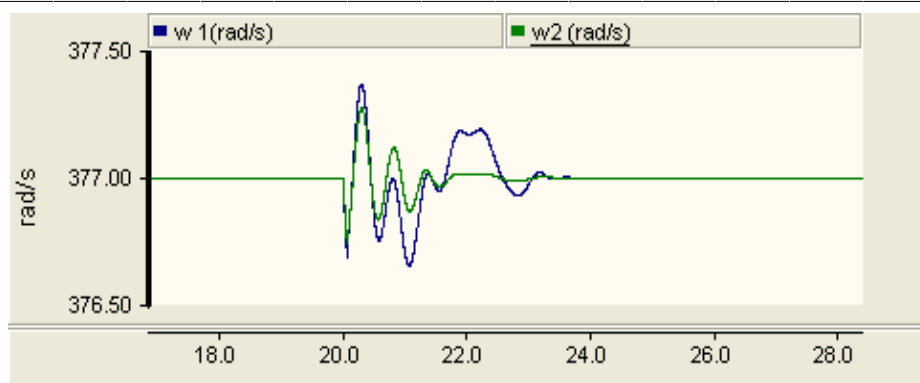


شکل (۳-۴۵): ولتاژ شین های میکرو شبکه

همچنین از لحظه شروع خطا تا لحظه رفع آن، ولتاژ شین اول در حال کاهش است. ولی ولتاژ شین های دو و سه در لحظه شروع خطا دارای کمترین مقدار خواهند بود و بعد از آن اندکی بهبود می یابند و بعد از رفع خطا نیز ولتاژ این شین ها طی دو الی سه سیکل به حالت ماندگار خود خواهد رسید، که در این مدت دارای مقدار متوسط کمتری نسبت به حالت کار عادی است. دلیل آن میتواند ناشی از نوسانات توان های راکتیو تولیدی توسط دو واحد DG باشد.

با شروع خطا و افزایش توان اکتیو کشیده شده از هر دو واحد، بایستی سرعت های دو واحد نیز افت پیدا کند که در شکل (۳-۴۶) مشخص است. البته به دلیل بیشتر بودن سهم واحد DG1 در جریان خطا نسبت به واحد دوم (DG2)، افت سرعت آن نیز اندکی بیشتر است که این افت سرعت تا لحظه رفع خطا ادامه خواهد داشت.

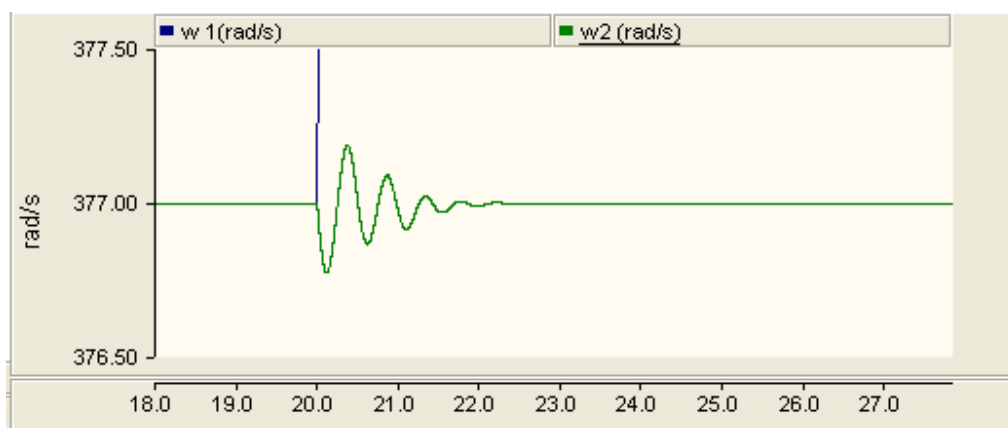
بعد از رفع خطا گاورنر سعی در تنظیم سرعت دو واحد دارد که البته بعد از 0.8 ثانیه موفق به کنترل سرعت آنها می شود، (شکل (۳-۴۶) را ببینید). البته در مدت زمان پس از رفع خطا تا پایداری سرعت نوساناتی در شکل موج سرعت مشاهده می شود که سریعاً از دامنه آن ها کاسته می شود. شکل تغییرات سرعت دو واحد ژنراتور شبیه یکدیگرند با این تفاوت که فراجهد سرعت واحد اول بیشتر از واحد دوم است.



شکل (۳-۴۶): سرعت های خروجی دو واحد DG

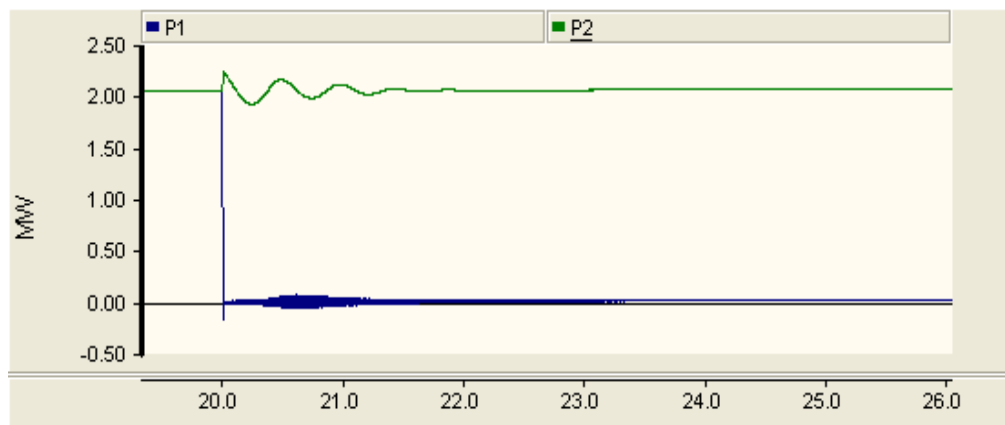
3-2-6: قطع توربین از شبکه

در این قسمت از شبیه سازی، توربین شماره یک در زمان $t=20$ s از شبکه جدا می شود. همان طور که از شکل (۳-۴۷) مشاهده می شود با قطع توربین شماره یک از میکروشبکه، سرعت این واحد به طور نامحدودی روبه افزایش می گذارد، که بایستی در این حالت روتور را از توربین جدا کرد. ولی واحد دوم که هنوز در مدار قرار دارد، سرعت آن دارای نوسانات کوچکی بوده و بعد از مدت زمان $2/3$ ثانیه پس از قطع توربین اول و اعمال سیستم کنترلی گاورنر به مقدار عادی خود می رسد.



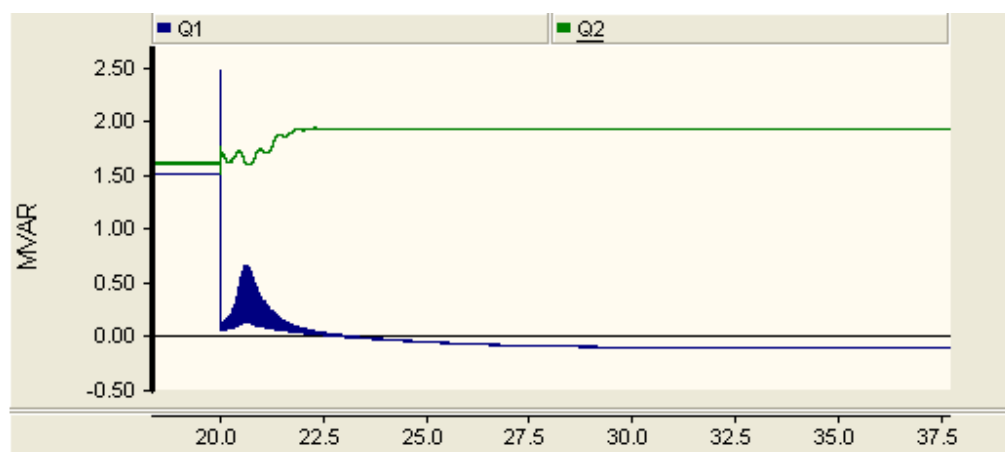
شکل (۳-۴۷): سرعت های خروجی دو واحد DG

پس از جدا شدن منبع شماره یک، توان اکتیو تولیدی واحد اول، به مقدار کوچکی نزول می کند. متناسب با نوسانات سرعت واحد دوم، در حالت گذرای پس از جدایی منبع یک، نوسانات کوچکی برای توان اکتیو واحد دوم نیز در مدت زمان کوتاهی رخ می دهد (شکل (۳-۴۸) را ببینید).



شکل (۳-۴۸): توان های اکتیو تولیدی دو واحد DG

قبل از قطع توربین و در حالت کار عادی، واحد های اول و دوم به ترتیب توان های راکتیو $1/52$ MVAR و $1/62$ MVAR به شبکه تزریق می کنند. بعد از قطع توربین واحد دوم، توان راکتیو تولیدی واحد اول به مقدار کوچکی خواهد رسید، ولی توان راکتیو تولیدی واحد دوم (Q2)، برای حفظ ولتاژ شین ها در یک حد قابل قبول و جهت تامین توان راکتیو مصرفی شبکه ی توزیع، بعد از طی حالت گذرای که 1.8 ثانیه طول می کشد، به مقدار جدید $1/93$ MVAR می رسد که از حالت قبل از قطع آن بزرگتر است، شکل (۳-۴۹) مشاهده شود.



شکل (۳-۴۹): توان های راکتیو تولیدی دو واحد DG

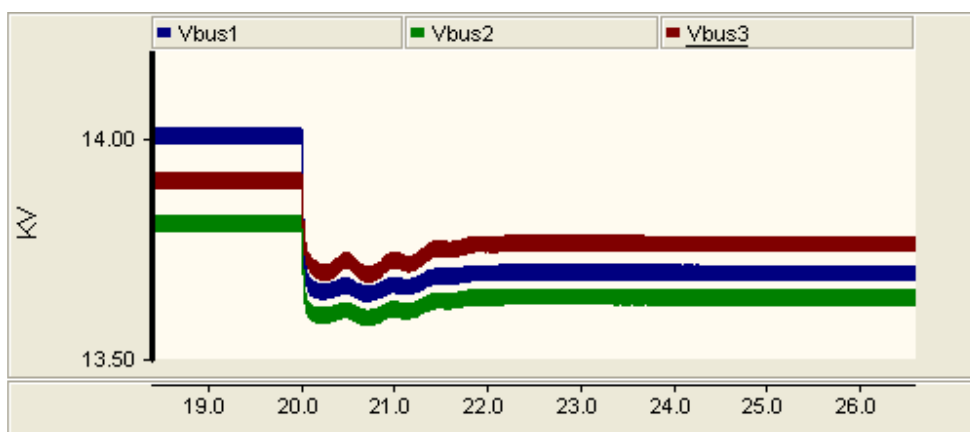
ولتاژ شین ها نیز پس از قطع واحد اول، به دلیل کاهش توان تزریقی راکتیو به شبکه، مقدار کمی کاهش یافته اما با افزایش توان راکتیو واحد دوم (Q2)، ولتاژ شین ها نیز با طی حالت گذرایی افزایش خواهند یافت. لازم به ذکر است که در حالت ماندگار بس از قطع توربین شماره یک، ولتاژ شین ها از مقدار اولیه ی قبل از قطع توربین، کوچکتر است (شکل (۳-۵۰)).

ولتاژ شین ها قبل از قطع به قرار زیرند:

$$V_{bus1}=13/99 \text{ KV}, V_{bus2}=13/79 \text{ KV}, V_{bus3}=13/89 \text{ KV}$$

بعد از قطع مقادیر جدید ولتاژ به شرح زیر است:

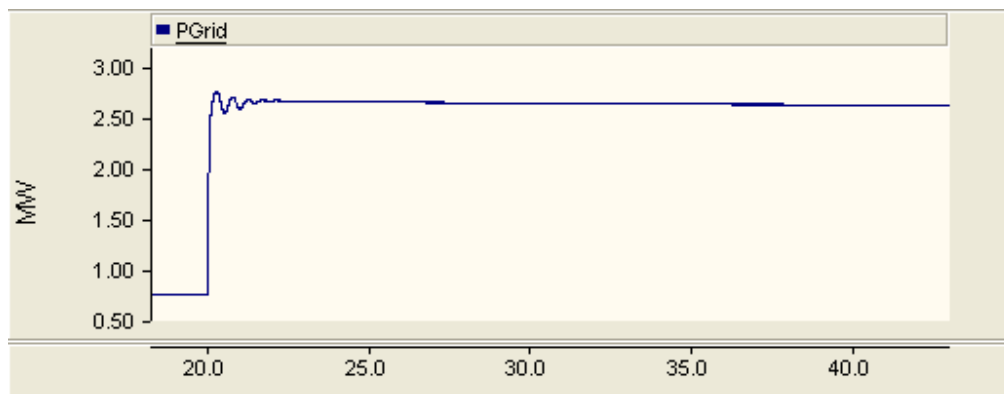
$$V_{bus1}=13/68 \text{ KV}, V_{bus2}=13/63 \text{ KV}, V_{bus3}=13/75 \text{ KV}$$



شکل (۳-۵۰): ولتاژ شین های میکرو شبکه

قبل از قطع توربین توان اکتیو تزریقی توسط شین بی نهایت (PGrid) 0/77 MW و توان راکتیو تولیدی آن 0/64 MVAR می باشد، که نشان دهنده تزریق توان راکتیو به شبکه اصلی است. ولی پس از قطع توربین اول سهم تولید توان اکتیو و راکتیو توسط واحد اول، بر عهده شبکه ی اصلی و واحد دوم است که سهم شبکه اصلی در تامین توان بیشتر از واحد دوم خواهد بود.

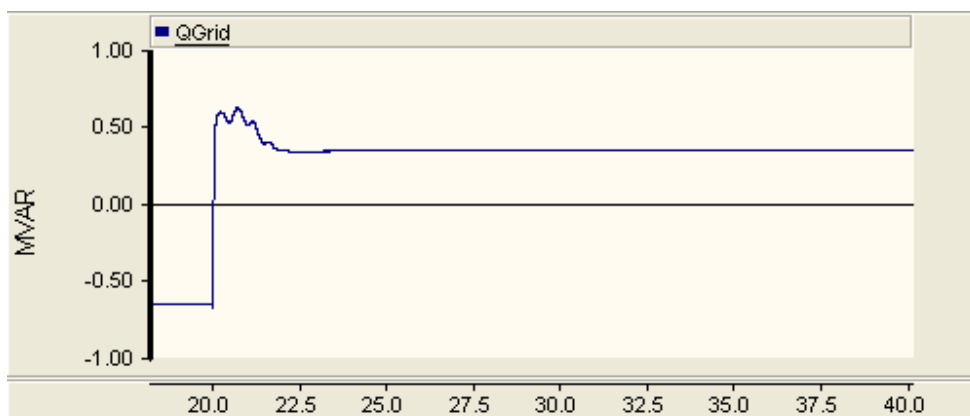
در نتیجه پس از قطع توربین، توان اکتیو تولیدی شین بی نهایت، PGrid، به مقدار بزرگتری از حالت قبل از قطع توربین، صعود میکند و طی نوسانات کوچکی به حالت ماندگار خود می رسد و در حالت ماندگار توان اکتیو ۲/۶۶MW به میکرو شبکه تحویل خواهد داد. شکل (۳-۵۱) را ببینید.



شکل (۳-۵۱): توان تزریقی توسط شبکه اصلی

همچنین پس از قطع واحد اول، به همان دلیل ذکر شده در قسمت بالا، جهت شارش توان راکتیو تولیدی شین بی نهایت (QGrid)، نیز عوض شده، بنابراین QGrid با طی حالت گذرای مثبت می شود (به شبکه ی توزیع توان راکتیو تزریق می کند). شکل (۳-۵۲) را ببینید.

هم چنین باید گفته شود که در حالت ماندگار پس از قطع توربین، جهت حفظ ولتاژها و برای جلوگیری از افت بیش از اندازه ولتاژها و در نتیجه به دست آمدن مقادیر غیر قابل قبول برای ولتاژ شین های شبکه، توان راکتیو تزریقی شین بی نهایت، دارای مقدار بزرگتری از حالت ماندگار قبل از قطع بار می باشد (شکل (۳-۵۲)).



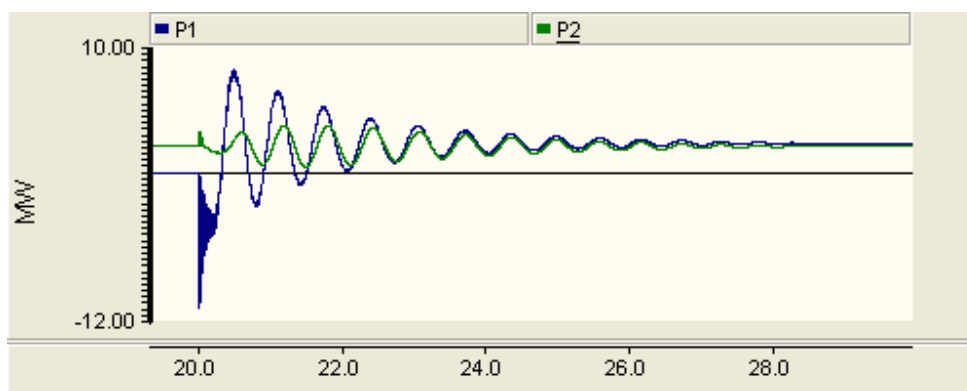
شکل (۳-۵۲): توان راکتیو تزریقی توسط شبکه اصلی

البته پس از قطع توربین واحد اول برای حفظ ولتاژهای شبکه می توان از بانکهای خازنی استفاده کرد. پس از ورود بانک خازنی به علت تزریق توان راکتیو توسط آنها، ولتاژ شین ها افزایش می یابد و هم چنین پس از حالت گذرا توان راکتیو واحد دوم به علت وجود این بانکهای خازنی کمتر از حالت بدون بانک خازنی خواهد بود و همچنین توان اکتیو بیشتری از شین بی نهایت در این حالت کشیده خواهد شد که به دلیل تامین جریان این بانک های خازنی خواهد بود.

3-2-6: وصل توربین به شبکه

هدف از این آزمایش وصل یکی از توربین های بادی به میکرو شبکه و بررسی اثر آن بر روی شکل موج ولتاژ شین ها، شکل موج توان واحد ها و توان تزریقی شین بی نهایت به شبکه ی توزیع است. در زمان $t=20$ s واحد شماره یک به شبکه متصل خواهد شد. قبل از این زمان واحد شماره ی دو به شبکه وصل بوده و شبکه در حالت کار عادی به سر می برد. پارامتر های مورد اندازه گیری ولتاژ شین های میکرو شبکه، توان های اکتیو و راکتیو تولیدی دو واحد، سرعت خروجی دو واحد و همچنین توان های اکتیو و راکتیو تزریقی توسط شین بی نهایت می باشد.

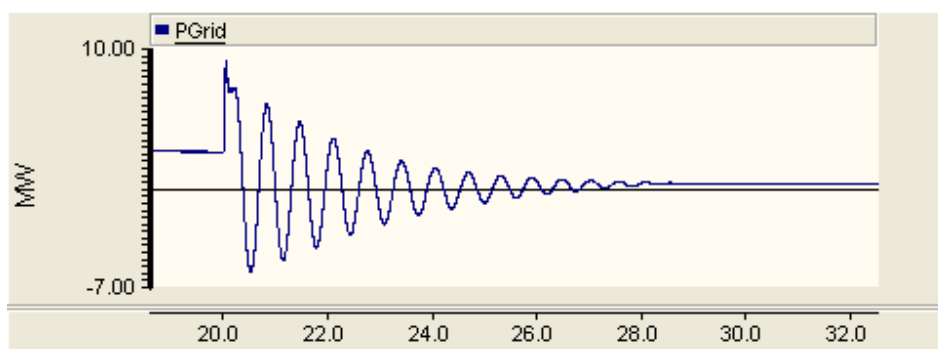
با وصل توربین واحد اول به شبکه، حالت گذرای دو قسمتی، در شکل موج های توان اکتیو منبع شماره ی یک و دو (P1 و P2) دیده میشود (شکل (۳-۵۳)).



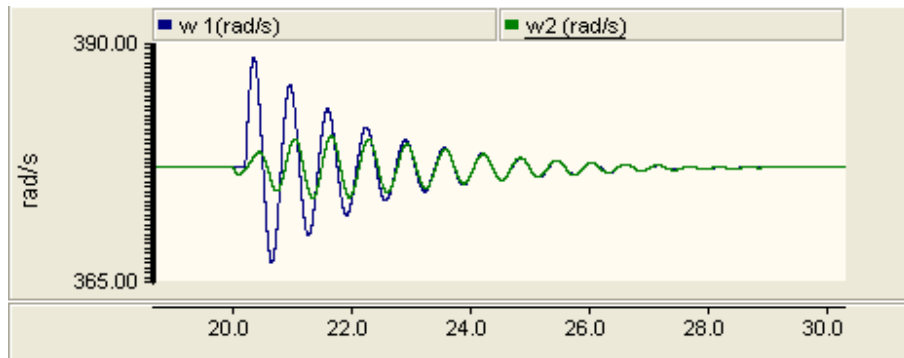
شکل (۳-۵۳): توان های اکتیو تولیدی دو واحد DG

قسمت اول از حالت گذرا ی شکل موج توان اکتیو تولیدی واحد شماره ی یک، دارای نوساناتی با فرکانس بزرگ بوده و در بخش منفی قرار دارد، اما قسمت دوم آن دارای نوساناتی با فرکانس کوچک است که همراه با اعوجاجاتی نیز می باشد و $0/3$ s نیز طول می کشد. قسمت دوم از حالت گذرای P1 (توان اکتیو تولیدی واحد شماره ی یک) که نسبت به محور زمان متقارن است، نیز بعد از تقریباً ده سیکل میرا می شود. در طی سه سیکل از نوسانات قسمت دوم حالت گذرای توان اکتیو واحد یک، دامنه ی نوسانات توان واحد اول دارای اندازه بزرگتری است و بعد از آن تقریباً دو شکل موج بر هم منطبق خواهند شد. قبل از وصل واحد اول، توان اکتیو تولیدی واحد دوم مقدار $2/08$ MW و بعد از وصل واحد اول و پس از رسیدن به حالت ماندگار، واحد اول و دوم به ترتیب توان های $2/35$ MW و $2/1$ MW تولید خواهند کرد.

در لحظه ی وصل توربین واحد اول، توان اکتیو تزریقی توسط شین بی نهایت به شبکه ی توزیع (PGrid)، به مقدار بزرگی جهش کرده و نوسانات آن در مدت زمان $0/23$ s بعد از وصل، متناسب با نوسانات توان در همین مدت زمانی است. پس از این مدت زمانی، PGrid طی نوساناتی به مدت پنج سیکل به حالت پایدار خود می رسد. قبل از وصل واحد اول توان کشیده شده از شین بینهایت $2/68$ MW و بعد از وصل توربین واحد اول، به علت تولید توان توسط DG1، به مقدار $0/42$ MW خواهد رسید. شکل (۳-۵۴) مشاهده شود.

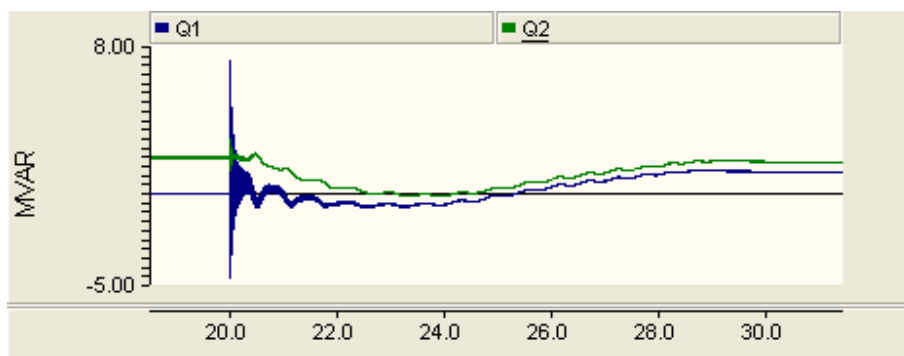


شکل (۳-۵۴): توان تزریقی توسط شین بی نهایت



شکل (۳-۵۵): سرعت های خروجی دو واحد

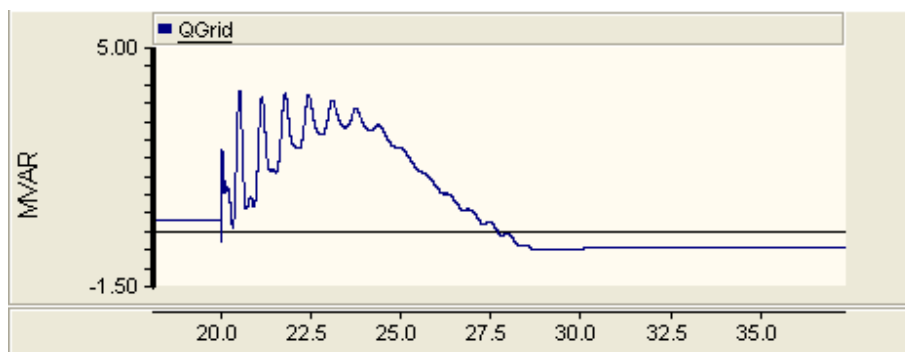
دقت در شکل موج های توان های راکتیو تولیدی منابع یک و دو (Q1 و Q2)، نشان می دهد که بعد از وصل واحد اول، Q2 در چند سیکل اول دارای نوساناتی با دامنه بزرگ خواهد بود که خیلی سریع از دامنه این نوسانات کاسته میشود (شکل (۳-۵۶)). مشاهده می شود که قسمتی از نوسانات توان راکتیو تولیدی منبع شماره ی یک (Q1)، با فرکانس بزرگ در قسمت منفی محور بوده و از قسمت منفی طی نوسانات کوچکی وارد قسمت مثبت خواهد شد. قبل از وصل توربین واحد اول، Q2 مقدار 1/98 MVAR را دارا می باشد و بعد از وصل توربین واحد اول، به مقدار 1/74 MVAR می رسد. Q1 نیز بعد از وصل توربین و در حالت ماندگار 1/19 MVAR به شبکه تحویل می دهد.



شکل (۳-۵۶): توان های راکتیو تولیدی دو واحد DG

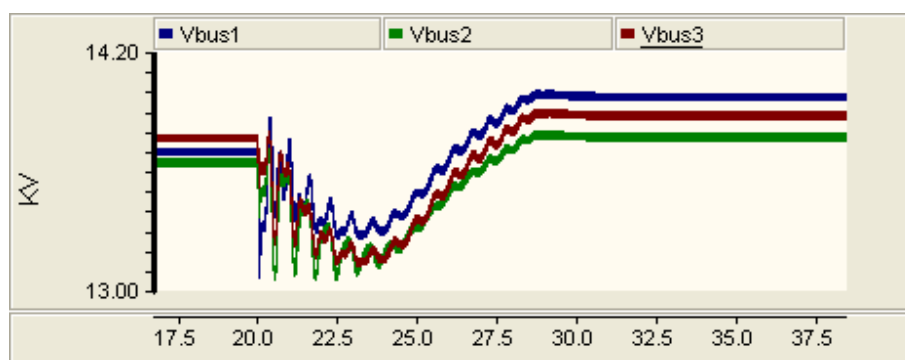
نوسانات توان راکتیو تزریقی شین بی نهایت (QGrid) نیز متناسب با نوسانات Q1 در لحظه وصل و بعد از آن است، به طوریکه در لحظه وصل به مقدار بیشتری صعود خواهد کرد و در مدت زمان 0/23 s بعد از وصل، دارای نوسانات با فرکانس بزرگ در قسمت مثبت خواهد بود. بعد از طی این نوسانات به قسمت منفی وارد

خواهد شد و توان $0.43/43$ MVAR از میکروشبهه دریافت می کند. شکل (۳-۵۷) ملاحظه شود. لازم به ذکر است که قبل از وصل توربین واحد اول، شین بی نهایت توان $0/31$ MVAR به میکروشبهه تزریق می کرده است.



شکل (۳-۵۷): توان راکتیو تزریقی توسط شین بی نهایت

در لحظات اولیه بعد از وصل توربین اول به دلیل کاهش توان های تولیدی راکتیو دو واحد، شاهد افت ولتاژ شین ها نیز خواهیم بود. شکل (۳-۵۸) را ببینید.



شکل (۳-۵۸): ولتاژ شین های میکروشبهه

ولی پس از طی حالت گذرا، ولتاژ شین ها افزایش خواهد یافت که ناشی از افزایش تزریق توان راکتیو به شبکه ی توزیع (توسط واحد اول) است.

ولتاژ شین ها قبل از وصل توربین واحد اول به قرار زیراند:

$$V_{bus1}=13/71 \text{ KV}, V_{bus2}=13/66 \text{ KV}, V_{bus3}=13/78 \text{ KV}$$

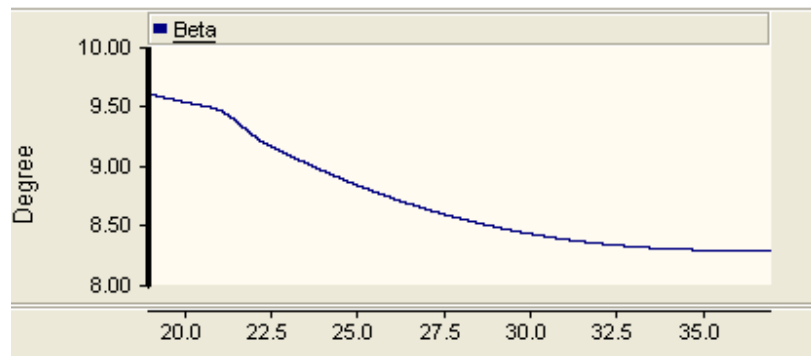
و بعد از وصل به مقادیر زیر می رسند:

$$V_{bus1}=13/98 \text{ KV}, V_{bus2}=13/78 \text{ KV}, V_{bus3}=13/88 \text{ KV}$$

7-2-3: اثر یک تند باد گذرا روی عملکرد میکروشبکه

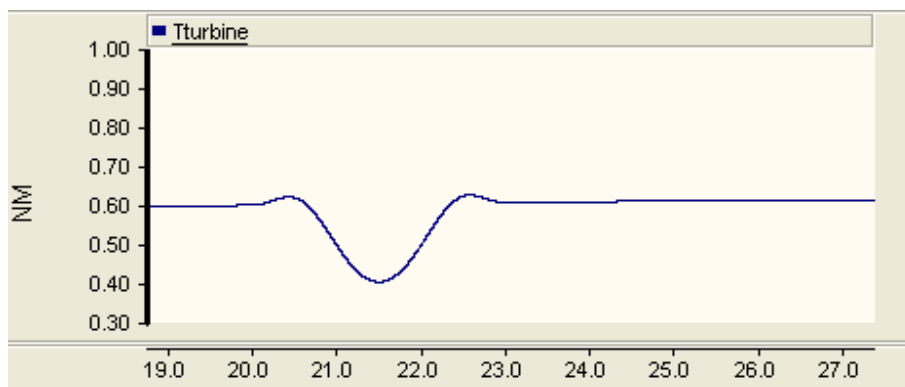
در تمام آزمایش های قبلی فرض بر این بود که سرعت باد ثابت باشد.

در این قسمت از شبیه سازی، فرض می شود در محل توربین بادی شماره یک، تند باد ناگهانی در زمان $t=20 \text{ s}$ و به مدت زمان 3 ثانیه بوزد. در اثر این تند باد، سرعت توربین بادی افزایش خواهد یافت. اما در همه حال و از جمله با تغییرات سرعت منبع باد در این جا، سرعت ژنراتور سنکرون بایستی ثابت بماند. در نتیجه سیستم کنترلی گاورنر، زاویه شیب پره ها را تغییر می دهد (کم می کند). شکل (۳-۵۹) مشاهده شود.



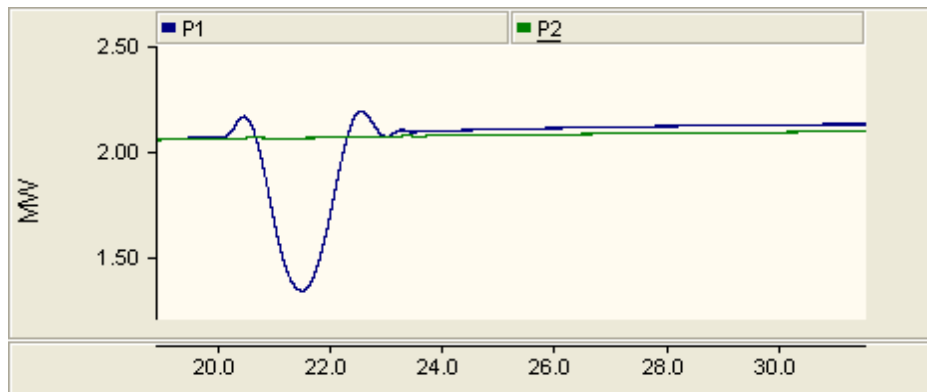
شکل (۳-۵۹): منحنی تغییرات زاویه ی شیب پره های توربین واحد شماره ی یک

از آنجایی که برای حفظ سرعت خروجی ژنراتور بایستی سرعت خروجی توربین ثابت بماند، بنابراین توان و گشتاور خروجی توربین در طی وزش باد بایستی کاهش یابد. (شکل (۳-۶۰))



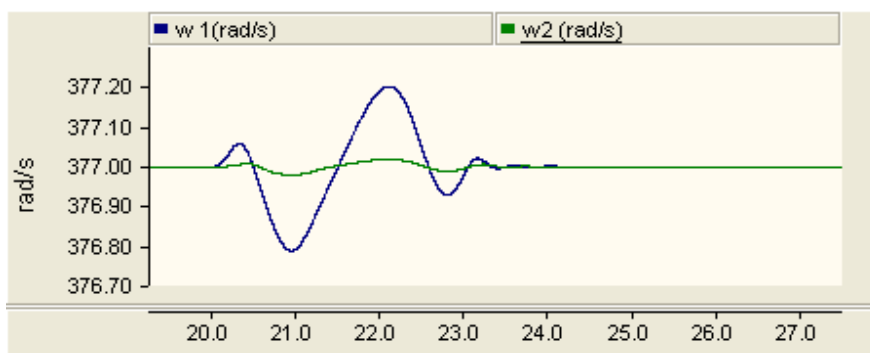
شکل (۳-۶۰): منحنی تغییرات گشتاور مکانیکی توربین واحد شماره ی یک

همان طور که از شکل موج توان های دو واحد (شکل های (۳-۶۱))، مشخص است، با تغییر ناگهانی سرعت باد در محل توربین اول، توان خروجی حاصل از آنها نیز نوسان می کند و توان خروجی واحد دوم را نیز تحت تاثیر قرار می دهد.



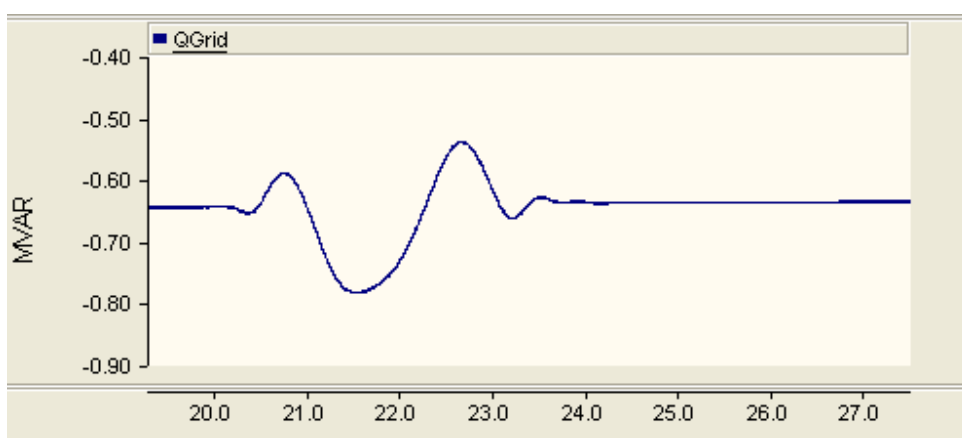
شکل (۳-۶۱): توان های اکتیو تولیدی دو واحد DG

از مشاهده شکل موج های سرعت محور ژنراتورها (شکل (۳-۶۲))، نتیجه می شود که سرعت واحد دو نیز در مدت تغییر سرعت باد در حال نوسان است، البته بایستی دقت کرد تغییرات سرعت واحد اول بیشتر از واحد دوم است، هر چند که در اثر سیستم کنترلی گاورنر تغییرات سرعت میرا می شود. همچنین تغییرات سرعت واحد دوم سریعتر میرا خواهد شد.

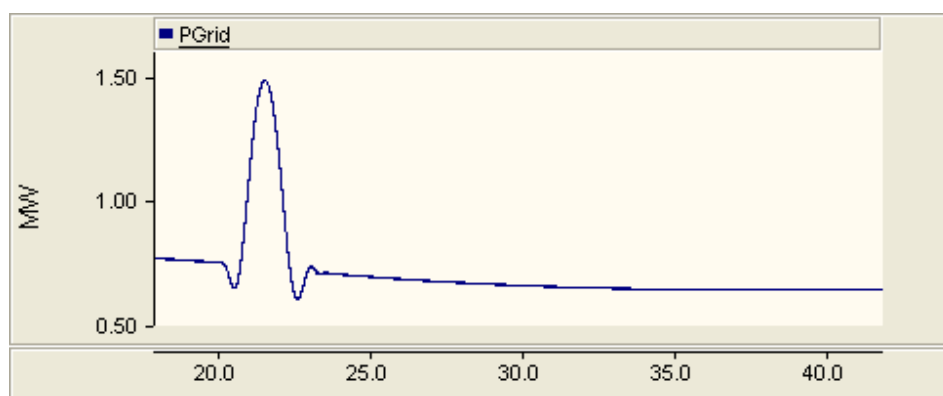


شکل (۳-۶۲): سرعت های خروجی دو واحد DG

با شروع تغییرات سرعت باد و کاهش توان راکتیو تولیدی دو واحد مشاهده می شود که توان تحویلی میکرو شبکه به شین بینهایت کمتر می شود. ولی توان تحویلی میکرو شبکه به شین بینهایت، همچنان در حالت منفی قرار دارد. در مدت زمان 0/058 ثانیه بعد از شروع تند باد سرعت دو واحد در حال کاهش می باشد و فرکانس نوسانات توان اکتیو تولیدی دو واحد نیز زیاد است و در همین مدت زمان نیز PGrid به طور پیوسته در حال افزایش است ولی بعد از آن به یکباره افت خواهد کرد و در زمان 23/15 ثانیه به حالت عادی خود در زمان قبل از قطع می رسد (شکل های (۳-۶۳) و (۳-۶۴)).

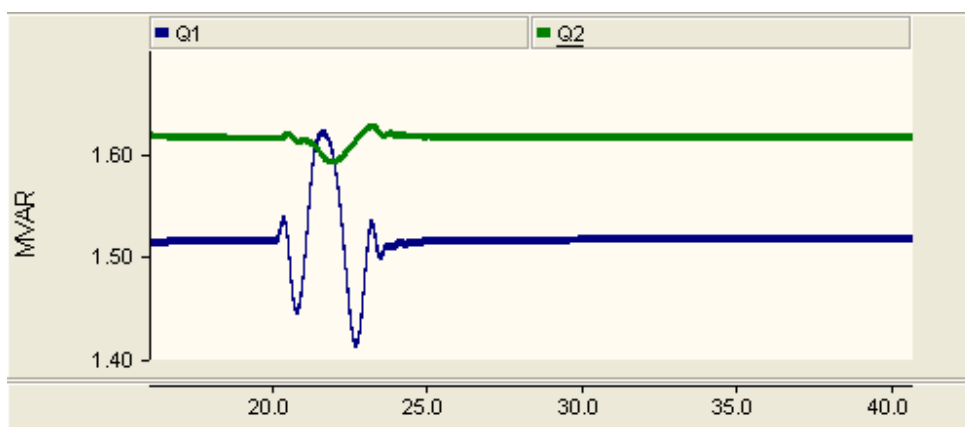


شکل (۳-۶۳): توان راکتیو تزریقی توسط شبکه اصلی

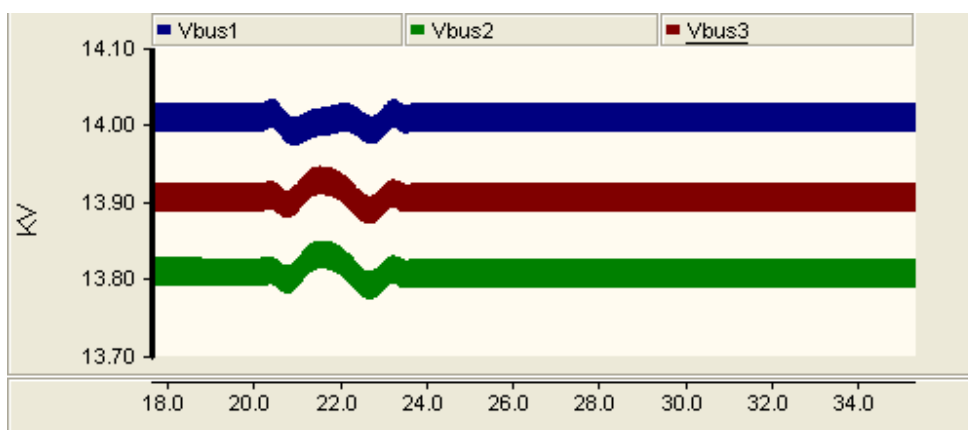


شکل (۳-۶۴): توان اکتیو تزریقی شبکه اصلی

در مدت زمان تغییر سرعت باد در لحظه ی $t=20\text{ s}$ ، نوساناتی در توان های تزریقی راکتیو دو واحد مشاهده می شود که پس از چند سیکل میرا شده و مقادیر آنها در حالت ماندگار خود، نسبت به حالت قبل از تند باد تغییری پیدا نمی کند. شکل (۳-۶۵) را ببینید. در نتیجه این نوسانات ولتاژ باس ها نیز تحت تاثیر قرار گرفته، در ابتدا دچار کاهش می شود. مقدار این کاهش در این آزمایش به 13% می رسد. البته $0/5$ ثانیه بعد از رفع تند باد ولتاژها به حالت اولیه خود بر می گردند. شکل (۳-۶۶) را ببینید



شکل (۳-۶۵): توان های راکتیو تولیدی دو واحد DG



شکل (۳-۶۶): ولتاژ باس های میکرو شبکه

مرجع :

www.wikipower.ir