



دانشگاه زنجان

دانشکده مهندسی

گروه برق

پایان نامه کارشناسی

گرایش: قدرت

عنوان:

جبران فلیکر بار غیرخطی توسط SVC

استاد راهنما: دکتر عباس ربیعی

نگارش: مهسالطی ۸۹۴۴۲۱۵۴

تیر ۹۳

فهرست مطالب

چکیده ۱

مقدمه ۲

فصل اول : فلیکر ولتاژ

فلیکر ولتاژ ۴

دسته بندی مشخصه فلیکر ۵

اثرات نامطلوب فلیکر ۵

عوامل ایجاد کننده فلیکر ولتاژ ۵

روش های ارزیابی فلیکر ۶

شاخص های ارزیابی فلیکر ۸

پیش بینی و ارزیابی فلیکر ناشی از کوره های قوس الکتریک ۱۰

فیلکرمتر استاندارد ۱۲

روند کار فیلکرمتر ۱۳

فصل دوم : روش های جبران فلیکر ولتاژ

روش های جبران و تصحیح فلیکر ۱۶

راه اندازهای موتوری ۱۷

خازن های موازی ۱۸

خازن های سری ۱۸

کندانسورهای سنکرون ۱۸

تغییر در آرایش شبکه ۲۰

راکتور انشعابی / راکتور قابل اشباع..... ۲۰

راکتور قابل اشباع چند فازه جبران شده هارمونیکی..... ۲۲

جبران کننده های توان راکتیو استاتیکی..... ۲۲

فصل سوم : جبران کننده توان راکتیو استاتیکی (SVC)

انواع اصلی کنترل کننده های FACTS..... ۲۵

روش های تولید توان راکتیو قابل کنترل..... ۲۶

تعریف SVC..... ۲۷

مولدهای استاتیکی توان راکتیو با امپدانس متغیر..... ۲۸

راکتور کنترل شده با تریستور (TCR)..... ۲۸

خازن سوئیچ شونده با تریستور (TSC)..... ۳۱

خازن ثابت و راکتور کنترل شده با تریستور (FC-TCR)..... ۳۳

راکتور کنترل شده با تریستور، خازن سوئیچ شده با تریستور (TSC-TCR)..... ۳۶

الزامات کارکردی جبران ساز توان راکتیو..... ۴۰

شیب تنظیم ولتاژ..... ۴۰

تابع تبدیل و عملکرد دینامیکی..... ۴۳

فصل چهارم : نتایج شبیه سازی

سیستم مورد مطالعه..... ۴۶

جبران فلیکر ولتاژ..... ۴۷

نتایج شبیه سازی..... ۴۸

پایان نامه کارشناسی



چکیده

فلیکر ولتاژ یکی از جنبه‌های مهم کیفیت توان در شبکه‌های قدرت است. این پدیده به نوسانات متناوب یا غیرمتناوب ولتاژ در شبکه‌های قدرت اطلاق می‌شود که دامنه آن‌ها تا حدود ۰/۱ پریونیت بوده

و فرکانس این نوسانات نیز بین صفر تا ۳۰ هرتز می‌باشد. به دلیل آثار آزاردهنده و مخرب این نوسانات، استانداردهای کیفیت توان در شبکه‌های قدرت برای این پدیده مطرح شده و حدود انتشار فلیکر مجاز در شبکه‌های قدرت برآورد شده است.

به منظور کاهش اثرات نامطلوب فلیکر ولتاژ روش‌های مختلفی ارائه شده است که استفاده از جبران‌کننده‌های توان راکتیو مانند SVC از آن جمله هستند. SVC یکی از مهمترین عناصر FACTS است که به دلیل پاسخ سریع و مزیت اقتصادی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این پروژه ابتدا به تشریح پدیده فلیکر ولتاژ، بارهای ایجادکننده فلیکر و روش‌های تخمین و ارزیابی آن پرداخته شده است. سپس روش‌های جبران فلیکر معرفی شده و SVC به عنوان یک روش مناسب و کارآمد برای کاهش فلیکر مورد بررسی دقیق‌تر قرار گرفته است. در انتها نیز با استفاده از نرم‌افزار MATLAB/Simulink به شبیه‌سازی یک سیستم سه‌فاز دارای بار غیرخطی و بررسی فلیکر ناشی از آن و کاهش فلیکر با استفاده از SVC پرداخته شده است.

مقدمه

فیلرک ولتاژ مسئله‌ای است که از زمان به کارگیری بارهای غیرخطی نظیر کوره‌های قوس الکتریکی مطرح بوده است، لیکن به واسطه آگاهی و درک بیشتر از مسئله کیفیت توان اخیراً بیشتر مورد توجه قرار گرفته است.

اهمیت توجه به پدیده فیلرک از دو جنبه آشکار می‌شود، جنبه اول آن که مقادیر غیر مجاز آن باعث آزرده‌گی و خستگی چشم می‌شود و موجبات نارضایتی مشترکین را فراهم می‌کند و جنبه دوم آن که به طور کلی کیفیت ولتاژ شبکه را کاهش داده و بارهای حساس از قبیل رایانه‌ها و دیگر تجهیزات الکترونیکی را تحت تأثیر خود قرار می‌دهد. در واقع محتوای طیفی این نوع اعوجاج می‌تواند کارکردهایی را که به فرکانس شبکه حساس هستند و در نزدیکی بارهای مولد اعوجاج قرار دارند را با مشکل مواجه کند.

هر پدیده‌ای که باعث تغییرات مقدار مؤثر ولتاژ منبع تغذیه شود به عنوان عامل ایجاد کننده فیلرک شناخته می‌شود. کوره‌های قوس، دستگاه‌های نورد، حفاری و جوشکاری و راه اندازی موتورهای الکتریکی می‌تواند باعث به وجود آمدن پدیده فوق گردند.

روش‌های مختلفی برای کاهش فیلرک ولتاژ به کار گرفته می‌شوند. روش‌های مرسوم در این زمینه استفاده از کندانسورهای سنکرون، راکتورهای قابل اشباع، ادوات (FACTS, SVC, STATCOM) می‌باشند.

اولین بار در سال ۱۹۷۳، جبران کننده توان راکتیو SVC به منظور کاهش فیلرک تولید شده توسط کوره‌های قوس، به کار برده شده است. این جبران کننده‌ها با استفاده از خازن‌ها، راکتورها و ادوات نیمه‌هادی با محدوده‌ی توان بالا، منبع تولید یا جذب توان راکتیو را تشکیل می‌دهند. کنترل ولتاژ به وسیله‌ی کنترل جریان راکتور جذب شده توسط مجموعه‌ی خازن و سلف انجام می‌پذیرد.

امروزه در موارد کنترل ولتاژ با کیفیت بالا، SVC به دلیل دارا بودن مزیت‌هایی از قبیل کاهش هزینه کل، قابلیت اطمینان بالا، تعمیر و نگهداری ساده‌تر و مناسب بودن مشخصه کاری، جایگزین انواع دیگر جبران کننده‌ها شده است.

پایان نامه کارشناسی

فصل اول

فلیکر و لتاژ

فلیکر ولتاژ

کیفیت توان از جمله موضوعاتی است که در سال‌های اخیر مورد توجه شرکت‌های برق و مشترکین قرار گرفته است. به طور کلی می‌توان دلایل زیر را برای توجه روزافزون به مبحث کیفیت توان

نام برد:

- (۱) افزایش بارهای غیرخطی مانند کوره‌های قوس در شبکه
- (۲) حساسیت تجهیزات الکتریکی مدرن مانند کنترل‌کننده‌های میکروپروسسوری،

محرک‌های با قابلیت تنظیم سرعت، کامپیوترها و ... به تغییرات ولتاژ و شکل موج ولتاژ

- (۳) افزایش سطح آگاهی مشترکین نسبت به مسائل کیفیت توان

واژه کیفیت توان به عنوان یک مفهوم فراگیر برای انواع مختلف اغتشاشات سیستم قدرت به کار می‌رود. به طور کلی هر مشکلی که در جریان، ولتاژ و یا فرکانس ظاهر شده و باعث ایجاد خطا و یا عملکرد ناصحیح دستگاه‌ها شود، به عنوان یک مشکل کیفیت توان مطرح است. از جمله این مشکلات می‌توان به پدیده چشمک زدن ولتاژ یا همان فلیکر ولتاژ اشاره کرد.

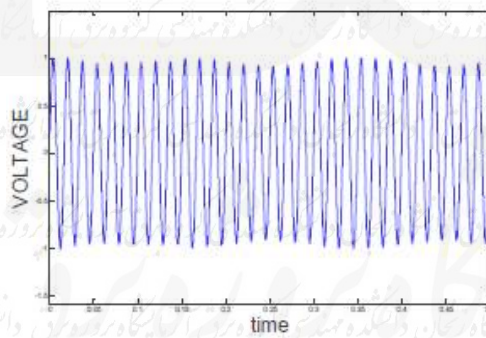
تغییرات سریع جریان شبکه باعث ایجاد نوساناتی در ولتاژ می‌شود که اثرات این نوسانات به

صورت کم و زیاد شدن یا سوسو زدن نور لامپ‌های رشته‌ای ظاهر می‌گردد که به این پدیده فلیکر

می‌گویند. بر اساس تعریف ANSI C84,1-1981 فلیکر ولتاژ عبارت است از تغییرات منظم پوش ولتاژ یا

یک سری تغییرات تصادفی که دامنه آن‌ها معمولاً از ۰/۹ تا ۱/۱ پریونیت باشد. مثالی از یک شکل موج

دارای فلیکر در شکل ۱-۱ نشان داده شده است.



(شکل ۱-۱) شکل موج فلیکر ولتاژ

دسته‌بندی مشخصه فلیکر

پدیده فلیکر را می‌توان به دو دسته کلی دوره‌ای^۱ و غیر دوره‌ای^۲ تقسیم بندی نمود.

فلیکر دوره‌ای، نوسانات ولتاژ پریودیکی ناشی از عملکرد یک کمپرسور یا یک کوره الکتریکی

است.

فلیکر غیر دوره‌ای، نوسانات ولتاژ گاه و بیگاه ناشی از راه اندازی یک موتور الکتریکی بزرگ یا

شروع به کار یک دستگاه جوش است.

اثرات نامطلوب فلیکر

اثر نوسانات ولتاژ را می‌توان در کم و زیاد شدن و سوسو زدن نور لامپ‌ها و همچنین پرش در

تصاویر تلویزیونی و اثر روی سیستم‌های ICU و CCU بیمارستانی ملاحظه کرد. در مقایسه با انواع وسایل

الکتریکی و الکترونیکی، لامپ‌های روشنایی بیشتر از بقیه ادوات به تغییر ولتاژ حساس هستند. البته

فلیکر ولتاژ به آن مقدار از تغییرات ولتاژ اطلاق می‌گردد که اثر آن در تغییر روشنایی لامپ‌ها توسط چشم

انسان قابل درک و رؤیت باشد و بدیهی است که این موضوع پدیده فیزیولوژیکی بوده و یک احساس

شخصی است و ممکن است از یک فرد تا فرد دیگر تغییر کند و حتی فلیکر ولتاژی که در نظر برخی افراد

آزار دهنده باشد توسط افراد دیگر قابل تشخیص نباشد. میزان درک افراد از این پدیده به دامنه، فرکانس

نوسانات، نوع لامپ‌های مورد استفاده و میزان روشنایی بستگی دارد.

عوامل ایجاد کننده فلیکر ولتاژ

اساساً فلیکر در سیستم‌هایی رخ می‌دهد که نسبت به تأمین مقدار توان مورد نیاز بار ضعیف

هستند. نوسانات ولتاژ در نتیجه تغییرات بار می‌باشند. هرگونه تغییری در جریان بار منجر به تغییر در

ولتاژ خواهد شد اما این تغییرات معمولاً به عنوان نوسانات ولتاژ در نظر گرفته نمی‌شوند. اینکه آیا

نوسانات ولتاژ، سبب فلیکر قابل رؤیت یا آزاردهنده می‌شوند یا نه بستگی به پارمترهای زیر دارد:

- توان منبع ایجاد فلیکر
- امپدانس سیستم
- فرکانس نوسانات ولتاژ

¹ Cyclic Flicker

² Non Cyclic Flicker

راه اندازی موتورها یکی از منابع معمول و اصلی ایجاد فلیکر در شبکه‌های توزیع می‌باشد. ترکیب جریان هجومی بالا و ضریب قدرت پایین در طی زمان راه‌اندازی می‌تواند باعث ایجاد فلیکر ولتاژ شود. این دسته‌بندی کلی از موتورها شامل انواع فن‌ها، پمپ‌ها، کمپرسورها، دستگاه‌های تهویه مطبوع، یخچال‌ها، آسانسورها و غیره می‌باشد.

همچنین بارهایی که به صورت متناوب کار می‌کنند مانند دستگاه‌های جوش قوسی یا نقطه‌ای، کوره‌های قوسی یا القایی باعث تغییرات ناگهانی در ولتاژ تغذیه شده و در نتیجه باعث ایجاد فلیکر می‌گردند. از منابع دیگر ایجاد کننده فلیکر می‌توان از سوئیچ کردن خازن‌های تصحیح ضریب قدرت در شبکه توزیع نام برد.

یک بار معمول که اغلب می‌تواند سبب ایجاد فلیکر شود کوره قوس الکتریکی است. کوره‌های قوس الکتریکی بارهای غیرخطی متغیر با زمان می‌باشند که اغلب علت نوسانات بزرگ ولتاژ و اعوجاج هارمونیکی هستند. در زمان عملکرد کوره، ثانویه ترانسفورماتور به دفعات اتصال کوتاه شده و به دلیل نسبت دور بالای این ترانسفورماتور، نوسانات شدید ولتاژ را در ضریب توان پایین باعث می‌گردد. پروسه ذوب می‌تواند از سه تا هشت ساعت طول بکشد که از این زمان در مدت نیم تا یک ساعت و نیم اول آن فلیکر ولتاژ بیشینه بوده ولی با ذوب شدن آهن در مراحل بعدی، طول قوس تقریباً ثابت می‌ماند و فلیکر ناچیز خواهد بود.

روش‌های ارزیابی فلیکر

بر اساس روش‌های قدیمی، ارزیابی فلیکر مستلزم در اختیار داشتن دو پارامتر عمده می‌باشد. پارامتر اول، درصد نوسان ولتاژ یا درصد فلیکر ولتاژ و پارامتر دوم فرکانس یا فرکانس‌های وقوع نوسانات ولتاژ می‌باشد. این دو پارامتر را می‌توان از طریق اندازه‌گیری و یا بر اساس اطلاعاتی که از مشخصه بار و وضعیت کارکرد آن در دسترس است، محاسبه کرد.

با انجام یک سری آزمایشات و سنجش حساسیت نور خروجی لامپ‌ها به تغییرات ولتاژ مشخص گردیده که حساسیت آن‌ها به نوسان ولتاژ در یک محدوده نسبتاً وسیعی قرار دارد که می‌توان یک آستانه تشخیص یا مرز رویت پذیری^۳ را برای آن به دست آورد. همچنین می‌توان یک مرز بالایی هم، جهت حداکثر فلیکر مجاز به دست آورد و آن ماکزیمم تحمل بینایی از لحاظ فیزیولوژی در برابر اثر فلیکر است

³ Threshold of visibility

که به آستانه آزرده‌گی^۴ نیز نامیده می‌شود. در شکل ۲-۱ مشخصه حساسیت فلیکر ولتاژ نشان داده شده است.



(شکل ۲-۱) مشخصه حساسیت فلیکر ولتاژ

در قسمت بالای منحنی بعضی از بارهای نمونه‌ای که در آن محدوده باعث ایجاد فلیکر می‌گردند نشان داده شده است. همان‌گونه که در شکل ۲-۱ مشخص است با افزایش فرکانس و در حد چند نوسان در ثانیه تفاوت کوچکی بین فلیکر قابل تشخیص (حد پایینی) و فلیکر مضر (حد بالایی) به وجود می‌آید. بنابراین بارهایی که نوسان ولتاژی در این رنج فرکانس دارند (مثل کمپرسورها یا دستگاه‌های جوش اتوماتیک) ممکن است فلیکر مضر را باعث شوند.

در روش‌های ارزیابی و اندازه‌گیری فلیکر که در سال‌های اخیر ارائه شده‌اند از اطلاعات مربوط به درصد نوسانات ولتاژ، فرکانس‌های وقوع نوسانات و منحنی مشخصه حساسیت فلیکر به گونه‌ای دیگر برای ارزیابی فلیکر بهره‌برداری می‌شود.

در این روش‌ها، سیستم بینایی انسان به عنوان مرجع در نظر گرفته شده است. از طریق آزمایش‌های متعدد، این نتیجه به دست آمده که زنجیره لامپ، چشم، مغز به نوسانات ولتاژی که دارای فرکانس ۸/۸ هرتز می‌باشند، بیشترین حساسیت را نشان می‌دهد.

⁴ Threshold of irritation

بر همین اساس برای اینکه به گونه‌ای احساس نسبی فلیکر به صورت کمی بیان شود، متغیری با عنوان سطح لحظه‌ای فلیکر (IFL) تعریف شده است. مقدار این متغیر در هر لحظه، صرفاً بیانگر احساس نسبی فلیکر می‌باشد.

مطابق استاندارد IEC یک شکل موج ۸/۸ هرتزی با دامنه ۰/۲۵ درصد ولتاژ مؤثر متناظر با IFL=1 می‌باشد. برای شکل موج‌های فلیکری که دارای فرکانس غیر از ۸/۸ هرتز می‌باشند، IFL=1 به ازای دامنه‌های بیشتری محقق می‌گردد. آزمایش‌های متعدد نشان داده است IFL با مربع دامنه موج فلیکر متناسب است.

شاخص‌های ارزیابی فلیکر

برای اندازه‌گیری صحیح شدت فلیکر همکاری بین IEC و UIE منجر به تعیین محدودیت‌های شدت فلیکر و استاندارد برای اندازه‌گیری فلیکر شده است. شدت فلیکر به صورت دو شاخص "شاخص کوتاه مدت فلیکر" و "شاخص بلند مدت فلیکر" تعریف می‌شود.

شاخص کوتاه مدت فلیکر

به سطح شدت فلیکر در یک دوره زمانی کوتاه مدت (ده دقیقه) گفته می‌شود. مقدار P_{st} از رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$P_{st} = \sqrt{0.0314P_{0.1} + 0.0525P_{1s} + 0.0657P_{3s} + 0.28P_{10s} + 0.08P_{50s}} \quad (1-1)$$

که در آن $P_{0.1}, P_{1s}, P_{3s}, P_{10s}, P_{50s}$ سطوح فلیکری هستند که در طی پرپود مشاهده برای ۰/۱، ۱، ۳، ۱۰، ۵۰ درصد از زمان از این حد بالاتر می‌روند. پسوند S در رابطه فوق بر این دلالت دارد که مقادیر متوسط هر سطح باید انتخاب گردند. این مقادیر از روابط زیر به دست می‌آیند:

$$P_{50s} = (P_{30} + P_{50} + P_{80})/3 \quad (1-2)$$

$$P_{10s} = (P_6 + P_8 + P_{10} + P_{13} + P_{17})/5 \quad (1-3)$$

$$P_{3s} = (P_{2.2} + P_3 + P_4)/3 \quad (1-4)$$

$$P_{1s} = (P_{0.7} + P_1 + P_{1.5})/3 \quad (1-5)$$

برای یافتن P_{st} از روش‌های مختلفی بر حسب نوع نوسانات ولتاژ می‌توان استفاده کرد. این روش‌ها عبارتند از:

- اندازه‌گیری مستقیم با فلیکرومتر
- شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مستقیم که برای انواع نوسانات ولتاژ جایی که $d(t)$ تعریف شده باشد به کار می‌رود.
- روش محاسباتی، شبیه‌سازی و اندازه‌گیری مستقیم برای جایی که نرخ وقوع کمتر از یک بار در ثانیه داشته باشد.
- استفاده از منحنی $P = 1$ برای تغییر ولتاژ مستطیلی در بازه‌های زمانی مساوی

شاخص بلند مدت فلیکر

برپایه ۱۰ دقیقه‌ای که بر پایه آن ارزیابی شدت فلیکر در بازه زمانی کوتاه مدت انجام می‌پذیرد برای ارزیابی اعوجاجات ایجاد شده توسط منابع خاصی که دوره کاری کوتاه مدت دارند مناسب می‌باشد. زمانی که چندین بار فلیکرها به صورت تصادفی عمل می‌نمایند و نیز زمانی که اثر منابع ایجاد فلیکر طولانی مدت (مانند کوره‌های قوس) مورد نظر قرار می‌گیرند باید از روشی که ارزیابی طولانی مدت را شامل می‌گردد استفاده شود. این شاخص در یک دوره زمانی بلند مدت (۲ ساعت) با استفاده از ۱۲ مقدار متوالی P_{st} طبق رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$P_{lt} = \sqrt[3]{\frac{1}{12} \sum_{i=1}^{12} P_{sti}^3} \quad (1-6)$$

حد مجاز فلیکر برای شینه‌های واقع در سطوح ولتاژی مختلف طبق جدول زیر توصیه می‌شود.

(جدول ۱-۱)

نوع شبکه	شبکه فشار ضعیف	شبکه فشار متوسط	شبکه فشار قوی
P_{st}	۱	۰/۹	۰/۸
P_{lt}	۰/۸	۰/۷	۰/۶

دانشجویان محترم:

جهت دسترسی به متن کامل پایان نامه‌ها به کتابخانه دانشکده مهندسی و یا آزمایشگاه پروژه گروه برق مراجعه فرمایید.

نتیجه گیری

در این پروژه فلیکر ولتاژ و اثرات ناشی از آن شرح داده شد و به شناسایی بارهای مسبب فلیکر و روش های ارزیابی و اندازه گیری فلیکر پرداخته شد. همچنین راه های جبران آن مورد بررسی قرار گرفت.

در این پروژه یک سیستم سه فاز دارای بار غیر خطی در محیط MATLAB/Simulink

شبیه سازی شد نتایج شبیه سازی نشان می دهد قطع و وصل بار باعث تغییرات سریع جریان با دامنه بالا می شود و این خود منجر به فلیکر ولتاژ می شود.

برای جبران فلیکر از SVC استفاده شده است. همان طور که مشاهده شد با نصب SVC در شین

بار غیر خطی برای هر فاز و استفاده از کنترلر PI برای آن می توان به صورت موازی جریان لازم را به خط تزریق کرد و با توجه به سرعت بالای SVC میزان فلیکر ولتاژ را به میزان قابل توجهی کاهش داد.

مراجع

[۱] هینگورانی نارین جی، گایوگی لازو، آشنایی با FACTS، مهندسی مشاور قدس نیرو، ۱۳۸۴

[۲] عابدی مهرداد، شریفی عماد، جلالی داود، نوسانات ولتاژ در شبکه‌های توزیع و شبیه‌سازی دینامیکی از

راه‌اندازی موتورهای القایی در شبکه، پنجمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۱۳۷۴

[۳] عزیزی حسین، کاظمی احد، واحدی ابوالفضل، ارائه یک مدل دینامیکی برای کوره قوس الکتریکی در همدندگی

حضور SVC به منظور کاهش مشکلات کیفیت انرژی و بهبود ولتاژ کوره در شبکه توزیع، دهمین کنفرانس

شبکه‌های توزیع نیروی برق، ۱۳۸۴

[۴] کنشلو رضا، نراقی محمدرضا، تعیین رابطه فلیکر با کیفیت توان و تنظیم ولتاژ در سطح توزیع نیروی

برق، پانزدهمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، ۱۳۹۱

[۵] گوهری صدر وحید، محسنی کبیر اسماعیل، پیش‌بینی شدت فلیکر ناشی از کوره‌های قوس الکتریکی

در شینه کویلاژ مشترک، دهمین کنفرانس بین‌المللی برق، ۱۳۷۴

[۶] مابینی شهریار، محمدرزاده شیرازی علی، بوستانی زاده محمد امیر، تحلیل اثر نوسان ولتاژ بر کیفیت

توان در شبکه‌های قدرت، چهارمین کنفرانس دانشجویی مهندسی برق ایران، ۱۳۹۰

[۷] شاهقلیان غضنفر، حق جو ابراهیم، اباذری سعید، بهبود ولتاژ با بهره‌گیری از کنترل فازی

در جبران‌کننده سنکرون استاتیکی توزیع (DSTATCOM)، فصل‌نامه علمی پژوهشی مهندسی برق

مجلسی، ۱۳۸۸

[۸] استاندارد صنعت برق ایران، کیفیت برق تحویلی به انواع مشترکین، ۱۳۸۱