به نام خدا

الکترونیک صنعتی

مولفان :

دکتر صدیقه تدین

دکتر محمد مهدی پیشرو

انتشارات ارسطو
(چاپ و نشر ایران)
۱۴۰۲

سرشناسه : تدین، صدیقه، ۱۳۶۳-
عنوان و نام پدیدآور : الکترونیک صنعتی/ مولفان صدیقه تدین، محمد مهدی پیشرو.
مشخصات نشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران) ، ۱۴۰۰.
مشخصات ظاهری : ۲۱۵ ص.: مصور، جدول.
شابک : ۱-۷۶۷-۴۳۲-۶۰۰-۹۷۸ : ۱۷۲۰۰۰۰ ریال
وضعیت فهرست نویسی : فیپا
یادداشت : کتابنامه: ص. ۲۱۵.
موضوع : الکترونیک صنعتی
موضوع : Industrial electronics
شناسه افزوده : پیشرو ، محمد مهدی ، ۱۳۶۴
رده بندی کنگره : TK۷۸۱۹
رده بندی دیویی : ۶۲۱/۳۸۱
شماره کتابشناسی ملی : ۸۵۱۱۰۰۱
اطلاعات رکورد کتابشناسی : فیپا

نام کتاب : الکترونیک صنعتی
مولف : دکتر صدیقه تدین - دکتر محمد مهدی پیشرو
ناشر : ارسطو (سامانه اطلاع رسانی چاپ و نشر ایران)
تیراژ : ۱۰۰۰ جلد
نوبت چاپ : اول - ۱۴۰۲
چاپ : مدیران
قیمت : ۱۷۲۰۰۰ تومان
فروش نسخه الکترونیکی - کتاب‌رسان :
https://chaponashr.ir/ketabresan
شابک : ۱-۷۶۷-۴۳۲-۶۰۰-۹۷۸
تلفن مرکز پخش : ۰۹۱۲۰۲۳۹۲۵۵
www. chaponashr. ir

انتشارات ارسطو
چاپ و نشر ایران
Chaponashr.ir

تقدیم به نخستین مربیانم در زندگی

پدر بزرگوارم

و

مادر مهربانم که روح ایشان نظاره گر بر من است

آنان که فروغ نگاهشان، گرمی کلامشان و روشنی رویشان سرمایه زندگی من است.

صدیقه تدین

تقدیم به تمامی دوستداران علم و آگاهی

محمدمهدی پیشرو

فهرست مطالب

عنوان **صفحه**

مقدمه ۱۱

فصل ۱: مقدمه ای بر الکترونیک صنعتی

فصل ۲: روشهای مختلف کنترل توان

۲-۱ روشهای مختلف کنترل توان الکتریکی در صنعت ۱۷

۲-۲ روشهای کنترل الکترونیکی سوئیچها ۲۰

۲-۲-۱ روش کنترل فازی ۲۰

۲-۲-۲ روش سوئیچینگ در زمان ولتاژ صفر ۲۱

۲-۲-۳ سوئیچینگ با استفاده از اینورتورهای الکترونیکی ۲۲

۲-۲-۴ سوئیچینگ استاتیک ۲۳

۲-۳ تداخل الکترومغناطیسیEMI ۲۳

۲-۴ انواع قطعات یکسوساز ۲۴

۲-۵ طبقه بندی مدارهای یکسوساز از مشخصه کنترلی ۲۵

۲-۶ انواع دیودهای قدرت ۲۶

۲-۶-۱ دیودهای کاربرد عمومی یا همه منظوره ۲۶

۲-۶-۲ دیودهای سر عت بالا یا بازگشت سریع ۲۶

۲-۶-۳ دیود شاتکی ۲۷

۲-۶-۴ دیودهای سیلیکون کاربید ۳۰

۲-۷ منحنی مشخصه دیود ۳۱

۲-۸ زمان بازیابی معکوس دیود ۳۳

۲-۹ خنک سازی و گرماگیرها ۳۵
۲-۱۰ مدار دیودی با بار RC با ورودی پله ۳۹
۲-۱۱ مدار دیودی با بار RL ۴۲
۲-۱۲ مدار دیودی با بار LC ۴۴
۲-۱۳ مدار دیودی با بار RLC ۴۶

فصل ۳: یکسوکننده های دیودی

۳-۱ مقدمه ۵۱
۳-۲ یکسوکننده های توان تکفاز غیر کنترل پذیر ۵۲
۳-۲-۱ یکسو کننده تکفاز نیم موج با بار مقاومتی ۵۲
۳-۲-۲ یکسوکننده تکفاز نیم موج با فیلتر خازنی ۵۸
۳-۲-۳ یکسوکننده تکفاز تمام موج با ترانس سر وسط و بار مقاومتی ۶۱
۳-۲-۴ یکسوکننده تکفاز تمام موج با پل دیودی ۶۶
۳-۲-۵ یکسوکننده تمام موج با بار اهمی القایی RL ۷۰
۳-۲-۶ یکسوکننده نیم موج دیودی با بار اهمی سلفی و کاربرد دیود هرزگرد ..۷۲
۳-۲-۷ یکسوکننده دیودی با بار RE یا مدار شارژ کننده باتری ۷۵
۳-۳ یکسوکنندههای سه فاز غیر کنترلی ۷۸
۳-۳-۱ یکسوکننده نیم موج سه فاز غیر کنترلی ۷۹
۳-۳-۲ پدیده تداخل ۸۴
۳-۳-۳ یکسوساز تمام موج پل سه فاز ۸۴

فصل ۴: دیودهای خاص

۴-۱ مقدمه ۹۳
دیود زنر ۹۳
۴-۱-۲ دیود تایرکتور ۹۷

۴-۱-۴ دیود شاکلی ۱۰۱
۴-۱-۵ دیود نور دهنده LED ۱۰۳
۴-۱-۶ دیود نورانی مادون قرمز ۱۰۵
۴-۲ ترانزیستورهای قدرت ۱۰۵
۴-۳ انواع ترانزیستورها ۱۰۵
۴-۳-۱ ترانزیستورهای القای استاتیک ۱۰۶
۴-۳-۲ ترانزیستورهای دو قطبی با گیت عایق شده ۱۰۸
۴-۳-۳ COOLMOS ها ۱۱۰
۴-۳-۴ ترانزیستور UJT ۱۱۱

فصل ۵: یکسوکننده های کنترلی

۵-۱ مقدمه ۱۱۵
۵-۲ تریستورها ۱۱۶
۵-۲-۱ انواع مدلهای تریستور ۱۱۷
۵-۲-۲ مشخصه تریستور ۱۱۹
۵-۲-۳ نواحی عملکردی تریستور ۱۲۱
۵-۲-۴ جریان تثبیت کننده ***IL*** ۱۲۲
۵-۲-۵ جریان نگه دارنده ***IH*** ۱۲۲
۵-۲-۶ روشهای روشن کردن تریستور ۱۲۲
۵-۲-۷ خاموش کردن تریستور یا کموتاسیون ۱۲۵
۵-۲-۸ زمان خاموشی تریستور ۱۲۶
۵-۲-۹ لازمه مدار گیت ۱۲۷
۵-۲-۱۰ ناحیه مطمئن پالس آتش ۱۲۸
۵-۲-۱۱ مدارهای محافظت از گیت ۱۲۸

۱۲-۲-۵ حفاظت در برابر $dvdt$ و $didt$ ۱۲۹

فصل ۶: انواع تریستورها

۶-۱ مقدمه ۱۳۰
۶-۱-۱ یکسوکننده کنترل کننده سیلیکونی SCR ۱۳۱
۶-۱-۲ تریستور تک پیوندی قابل برنامه ریزی PUT ۱۳۶
۶-۱-۳ سوئیچ کنترلی سیلیکونی یا scs ۱۳۶
۶-۱-۴ ترایاک ۱۳۹
۶-۱-۵ SCR تریگر شده با نور یا LASCR ۱۴۲
۶-۱-۶ سوئیچ سیلیکونی یک طرفه ۱۴۴
۶-۱-۷ سوئیچ سیلیکونی دو طرفه ۱۴۵
۶-۱-۸ - SCR با تقویت گیت ۱۴۵
۶-۱-۹ BCT ۱۴۵
۶-۱-۱۰ RCT: ۱۴۶
۶-۱-۱۱ تریستور یا سوئیچ خاموش شونده با گیت ۱۴۷
۶-۱-۱۲ MCT ۱۵۰
۶-۱-۱۳ SITH ها ۱۵۱
۶-۲ جریان موثر برای SCR ۱۵۲
۶-۳ مدارهای آتش ۱۵۳
۶-۳-۱ مدار آتش R ۱۵۳
۶-۳-۲ مدار آتش RC ۱۵۵
۶-۴ مدارهای کموتاسیون ۱۵۵

فصل ۷: یکسوکننده های کنترل پذیر با فاز

۷-۱ مقدمه ۱۵۹

۷-۱-۱ یکسوساز نیمه کنترل شونده با بار اهمی ۱۶۰
۷-۱-۲ یکسوساز نیمه کنترل شده با بار اهمی – سلفی ۱۶۲
۷-۱-۳ یکسوکننده تکفاز تمام کنترل شونده با بار اهمی و ترانس سر وسط ..۱۶۳
۷-۱-۴ یکسوکننده تمام کنترل شده تکفاز پل ۱۶۴
۷-۱-۵ یکسوکننده یا مبدل تمام کنترل شده با بار اهمی– سلفی (پل)..... ۱۶۶
۷-۱-۶ نیمه مبدل ۱۷۰
۷-۱-۷ یکسوکننده تمام کنترل شده با استفاده از یک تریستور ۱۷۲
۷-۲ تبدیل کننده نیمه کنترل شده ۳ فاز یا ۳ پالسه ۱۷۳
۷-۲-۱ یکسوکننده قابل کنترل سه فاز نیم موج ۱۷۳
۷-۳ معادلات برای مبدل P پالسی ۱۷۶

فصل ۸: سوئیچ های استاتیک

۸-۱ مقدمه: ۱۷۷
۸-۲ سوئیچ های AC تکفاز ۱۷۸
۸-۳ سوئیچ های AC سه فاز ۱۷۹
۸-۴ سوئیچ های dc ۱۸۱

فصل ۹: چاپرها

۹-۱ مقدمه: ۱۸۵
۹-۲ ویژگی اساسی چاپرها ۱۸۶
۹-۳ طبقه بندی چاپرها ۱۸۹
۹-۳-۱ چاپر نوع A..... ۱۹۰
۹-۳-۲ چاپر نوع B ۱۹۱
۹-۳-۳ چاپر نوع C ۱۹۱
۹-۳-۴ چاپر نوع D ۱۹۲

فصل ۱۰: اینورتورها

۱۰-۱ مقدمه ۱۹۵

۱۰-۲ انواع اینورتور ۱۹۶

۱۰-۲-۱ اینورتور سری ۱۹۷

۱۰-۳ سیکلوکانورتورها ۱۹۸

۱۰-۳-۱ سیکلوکانورتور کاهشی تکفاز ۱۹۹

۱۰-۳-۲ سیکلوکانورتور افزایشی ۲۰۰

فصل ۱۱: بانک سوالات

اختصارات ۲۱۱

منابع ۲۱۵

مقدمه

حمد و سپاس خداوند علیم را که توفیق علم به این بنده‌اش عنایت فرمود و قطره‌ای از چشمه لایزال علم و معرفتش را نصیب کرد آن حکیم که به تدبیر عالمانه خویش بر کائنات لباس هستی پوشاند و با جود و کرم خویش بر موجودات عالم رقم وجود زد.

انگیزه اصلی از نگارش این کتاب از آن‌جا نشات گرفت که پس از سال‌ها تجربه تدریس در درس الکترونیک صنعتی متوجه پیچیده و مشکل بودن ارائه سرفصل‌های درس در طول یک ترم تحصیلی برای دانشجویان مقاطع کاردانی و کارشناسی برق و هم چنین سنگین بودن مراجع اصلی این درس گردیدیم.

کتابی که در این زمینه ارائه شده است به دلیل جلوگیری از وارد شدن به محاسبات پیچیده ریاضی برای دانشجویان مقاطع کاردانی و کارشناسی بسیار روان و ساده می‌باشد از این رو یک کتاب با رویکرد کاربردی خواهد بود.

این کتاب شامل ۱۱ فصل بوده که فصل اول ارائه مقدمه‌ای در باب الکترونیک صنعتی می باشد. فصل دوم به بررسی روش‌های مختلف کنترل توان الکتریکی در

صنعت پرداخته سپس انواع قطعات یکسوساز را معرفی کرده است در نهایت هم مدارات دیودی تحلیل شده‌اند.

در فصل سوم به بیان عملکرد یکسوکننده‌های دیودی پرداخته‌ایم. فصل چهارم دیودهای خاص را معرفی کرده سپس به معرفی انواع ترانزیستورهای قدرت پرداخته شده است. فصل پنجم به بحث راجع به یکسوکننده‌های کنترلی مرتبط است. فصل ششم به معرفی انواع تریستورها پرداخته در ادامه معرفی مدارهای آتش و کموتاسیون را پوشش می‌دهد.

فصل هفتم انواع یکسوکننده‌های کنترل شده با فاز را ارائه داده‌ایم. فصل هشتم به بیان سوئیچ‌های استاتیکی پرداخته شده است.

فصل نهم چاپرها و انواع آن آورده شده و فصل دهم نیز به معرفی اینورتورها و سیکلوکانورتورها می‌پردازد. در نهایت در فصل یازدهم بانک سوالات مرتبط به مباحث ذکر شده خواهیم داشت.

فصل ۱

مقدمه‌ای بر الکترونیک صنعتی

آغاز علم الکترونیک قدرت به سال ۱۹۰۰ برمی‌گردد که اولین یکسوکننده جیوه‌ای ساخته شد. در سال ۱۹۴۸ اولین انقلاب الکترونیکی با اختراع ترانزیستور سیلیکونی در آزمایشگاه‌های تلفن بل، توسط باردین، براتین و شاکلی به وقوع پیوست.

بیشتر تکنولوژی‌های الکترونیکی پیشرفته امروزی نتیجه آن اختراع است. با گذشت سال‌ها، میکروالکترونیک مدرن، از نیمه هادی‌های سیلیکونی تکامل پیدا کرد. اختراع بزرگ بعدی که در سال ۱۹۵۶ انجام شد ترانزیستور قابل تحریک pnpn بود که تریستور یا یکسوکننده کنترل شونده سیلیکونی (SCR) نام گرفت.

دومین انقلاب الکترونیکی در سال ۱۹۵۸ با ساخت تریستورهای تجارتی توسط شرکت جنرال الکتریک صورت گرفت.

انقلاب میکروالکترونیک به ما این توانایی را داد که دنیایی از اطلاعات را با سرعتی باور نکردنی مورد پردازش قرار دهیم، انقلاب الکترونیک قدرت، ما را قادر ساخت که توان‌های خیلی زیاد را با بازده بالا کنترل کنیم و تغییر شکل دهیم.

امروزه گرایشی به نام الکترونیک صنعتی یا الکترونیک قدرت مطرح گردیده که مطالب بیان شده در آن، در بر گیرنده قطعات الکترونیکی و کنترلی با توان بالا است، به عبارتی دیگر الکترونیک قدرت تلفیقی از گرایش‌های قدرت الکترونیک و کنترل می‌باشد که در زیر وظیفه هریک توضیح داده شده است:

۱- بخش قدرت: به تجهیزات قدرتی ساکن و گردان برای تولید انتقال و توزیع برق مربوط می شود.

۲- بخش الکترونیک یا فرمان: با عناصری مانند نیمه هادی‌ها و مدارهای پردازش سیگنال برای تامین اهداف مورد نیاز در کنترل تجهیزات قدرت سر و کار دارد.

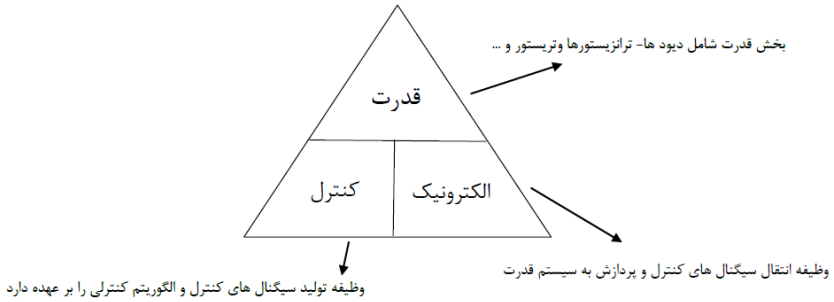
۳- بخش کنترل: بررسی مشخصه‌های دینامیکی و حالت پایدار سیستم‌ها را بر عهده دارد.

الکترونیک قدرت را می‌توان به صورت کاربرد نیمه هادی‌های خاص برای کنترل توان و تبدیل قدرت الکتریکی تعریف کرد.

مبنای الکترونیک قدرت بر اساس کلید زنی عناصر نیمه هادی قدرت است. الکترونیک کاربردی در جایگاه مهمی از تکنولوژی قرار گرفته و هم اکنون در بخش عمده‌ای از تجهیزات قدرت بالا هم‌چون دستگاه‌های کنترل گرما، نور، منابع تغذیه سیستم‌های محرک وسایل نقلیه، سیستم‌های فشار قوی جریان مستقیم HVDC[1]، شارژ کننده‌های باتری، دیمرها، مخلوط کن‌ها، جرثقیل‌ها و بالابرها، کنترل موتورها و قطار، محرک ژنراتورها و ... کاربرد دارد.

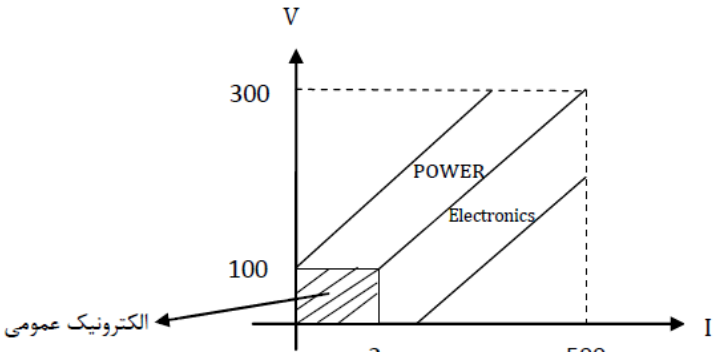
1-high voltage direct current

هم‌چنین از موارد دیگر کاربرد الکترونیک صنعتی در منابع تغذیه AC DC,UPS, و تغییر سرعت صنایع شیمیایی و کوره‌های القایی، نورد فلزات یا تغییر ضخامت فلزات و صنایع متفرقه را می‌توان نام برد.



شکل (۱-۱): جایگاه الکترونیک قدرت در یک سیستم الکترونیکی

محدوده عملکردی الکترونیک عمومی و الکترونیک قدرت در نمودار زیر از نظر محدوده ولتاژ و جریان نشان داده شده است:



شکل (۱-۲): مقایسه محدوده توان الکترونیک و الکترونیک قدرت

مدارها و قطعات الکترونیکی در انواع دستگاه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرند. از جمله دستگاه تریدمیل، ساعت مچی، دستگاه اندازه‌گیری فشار خون، دستگاه ویدئوپرژکتور و ...

شکل (۱-۳): مدارها و قطعات الکترونیکی در انواع دستگاه‌ها

فصل ۲

روشهای مختلف کنترل توان

۲-۱ روش‌های مختلف کنترل توان الکتریکی در صنعت:

در صنعت امروز روش‌های مختلفی جهت کنترل توان مورد استفاده قرار می‌گیرد که هر کدام از این روش‌ها مزایا و معایب خود را دارد ۷ روش کنترل توان را در اینجا نام می-بریم:

۱- سوئیچ‌های دستی[1]:

مزیت این روش در نداشتن توان مصرفی چه در موقع قطع (I=0) و چه در موقع وصل (V=0) بوده ولی عیب آن در کم بودن تعداد دفعات کنترل توان است.

۲- لامپ‌های گازی[2]:

دو نوع از این لامپ‌ها موجودند، لامپ‌های با ظرفیت کم که جهت جریان‌های کم استفاده شده و بیشتر در دستگاه‌های قدیمی استفاده می‌شود و لامپ‌های با ظرفیت

1-manual switch
2-gas filled tubes
3-semicunductors

جریانی بسیار بالا که در دستگاه‌های جدید کاربرد دارند و تحمل جریانی آن‌ها از SCR ها نیز بیشتر است و در مقابل اضافه بار بیشتر مقاومت می‌کنند.

۳- نیمه هادی‌ها[۳]:

مزیت آن‌ها در کنترل اتوماتیکی آن‌ها جهت روشن و خاموش شدن، مانند ترانزیستورها و SCR ها و... هم‌چنین کنترل توان مصرفی آن‌هاست و هم‌چنین کنترل توان منتقل شده به بار می‌باشد.

۴- رئوستا[۱]:

مزیت آن در امکان کنترل توان بوده و عیب آن در مصرف توان و وزن و حجم زیاد آن می‌باشد.

۵- ریاکتانس‌های متغیر[۲]:

استفاده از ریاکتورهای متغیر می‌تواند با مصرف توان کم، توان رسیده به بار را کنترل کند و به دو روش امکان پذیر است.

الف : switching a tapped inductor

ب : a sing a saturable reactor

برای مثال در شکل زیر از ریاکتور اشباع شونده جهت کنترل توان استفاده شده، در این مدار با یک جریان ضعیف dc می‌توان میزان اشباع کویل ac را کنترل نمود و توان AC زیادی را کنترل کرد. با اشباع بیشتر کویل مقدرا ریاکتانس آن بیشتر کاهش می یابد و می‌تواند به صفر برسد و توان AC رسیده به بار را به مقدار حداکثر ممکن برساند.

1- reostate
2- variable reactance

۶- سوئیچ‌های خودکار گردان[1]

۷- ترانسفورمرهای متغیر[2]:

این ترانسفورماتورها دارای راندمان خوبی در کنترل توان AC می‌باشند و از میزان صفر تا حداکثر توان ممکن را می‌توانند تحمل کنند. جهت انتقال و کنترل توان‌های زیاد، اتوترانسفورمرها بسیار حجیم و سنگین و گران قیمت خواهند بود، لذا در کنترل توان‌های خیلی کم بیشتر استفاده می‌شوند. چند نمونه ترانسفورماتور را در شکل زیر نشان داده‌ایم:

شکل (۲-۱): چند نمونه ترانسفورمر

نکته:

لامپ‌های گازی، ترانزیستورها و SCRها همگی به عنوان وسایل الکترونیکی مطرح هستند و بر اساس کار سوئیچ ها عمل می‌کنند. در این‌گونه سوئیچ‌ها توان انتقال یافته به بار را با تغییر و کنترل زمانی که بار تغذیه می‌شود کنترل می‌کنند.

1- rotating machinar swich
2- variable transformer

این‌گونه سوئیچ‌های الکترونیکی در هر ثانیه، بارها و بارها فعال می‌شوند و سرعت سریع قطع و وصل آن‌ها باعث انتقال توانی متغیر به بار می‌شود و سرعت زیاد آن‌ها باعث می‌شود توان منتقل شده به همان یکنواختی که رئوستا توان را تغییر می‌دهد عمل کند.

۲-۲ روش‌های کنترل الکترونیکی سوئیچ‌ها:

چهار روش جهت تغییر توان الکتریکی توسط سوئیچ‌ها به کار می رود:

۲-۲-۱ روش کنترل فازی[1]:

این روش را می‌توان جهت بار AC و یا DC استفاده نمود، در این مدار SCR زمان‌هایی که آند نسبت به کاتد مثبت شده روشن و زمانی که صفر شود خاموش خواهد شد لذا با فرکانس ۵۰ هرتز ورودی به طور اتوماتیک ۱۰۰ بار در ثانیه خاموش خواهد شد.

روشن شدن SCR بستگی به ولتاژ گیت آن دارد که چه زمانی مثبت شده و این زمان را می‌توان با مدار تحریک به گونه‌ای طراحی نمود که مثلا در ۶۰ درجه پس از شروع سیکل مثبت تحریک شود و یا هر زمان دلخواه دیگری، مثلا در ۲۴۰ درجه گیت تحریک و SCR روشن شود.

زمانی که SCR در هدایت است ولتاژی حدود ۰,۷ تا ۱,۵ ولت در دو سر آن افت خواهد، کرد لذا تقریبا تمام ولتاژ ورودی در دو سر بار قرار خواهد گرفت و زمانی که SCR خاموش است ولتاژی در دو سر بار نخواهد بود. وقتی فاز تحریک گیت در ۹۰ درجه تنظیم شود، فقط نصف توان به بار خواهد رسید و اگر در ۱۷۰ درجه تحریک شود، تقریبا هیچ توانی به بار نخواهد رسید.

1-phase control
2-radio frequenc interference