چهارمین کنفرانس
شبکه‌های توزیع نیرو

نقش تعمیرات دوره‌ای در افزایش قابلیت اطمینان سیستم

حسن قوچه بگلو
دانشکده برق - دانشگاه اصفهان

چکیده

افزایش قابلیت اطمینان هریک ازاجزاء سیستم توزیع چون ترانسفورماتورها، کلیدها، خطوط وغیره به‌نوبه‌خودمی‌تواندسبب افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم‌گردد. ودراین راستانقش تعمیرات دوره‌ای درافزایش قابلیت اطمینان اجزاء سیستم‌بدیهی بنظرمی‌رسد. ولی تصمیم‌گیری درموردزمان بهینه‌تعمیرات دوره‌ای برای این اجزاء بهیچوجه‌بدیهی نبوده‌ونیازبه‌بررسی مسائل متعددی دارد. ازیک طرف تجهیزات قدرت معمولاً پرهزینه‌بوده‌وخراب شدن آنها دربیشترموارد ازنظراقتصادی قابل قبول نیست ونیزتعمیرتجهیزات خراب علاوه برهزینه‌ممکن است برای مدتی طولانی سبب قطع انتقال نیروودرنتیجه‌کاهش قابلیت اطمینان سیستم‌شود. ازطرف دیگرتعمیرات دوره‌ای بی رویه‌می‌تواندعلاوه‌برغیراقتصادی بودن به‌علت اینکه‌درمدت تعمیرات دوره‌ای نیز دربیشتراوقات انتقال نیروازتجهیزات صورت نمی‌گیردمی‌تواندائرمنفی‌درقابلیت اطمینان سیستم داشته‌وسبب کاهش آن گردد. پریودهای زمانی بهینه‌ای برای تعمیرات دوره‌ای تجهیزات سیستم

وجوددارد که بصورتی اقتصادی بتوانند سبب افزایش قابلیت اطمینان آنها شود وافزایش قابلیت اطمینان این تجهیزات می‌تواند منجر به افزایش قابلیت اطمینان کل سیستم شود.

شرح مقاله

گرچه کارهای نسبتا" زیادی درزمینه برنامه‌ریزی تعمیرات دوره‌ای نیروگاهها صورت گرفته ولی در زمینه اجزاء سیستم توزیع این مطالعات به‌ندرت صورت گرفته‌است . دلیل عمده این امر اینست که در بیشتر موارد اطلاعات موردنیاز برای انجام محاسبات به‌صورت قابل استفاده‌ای جمع آوری نشده است ودربعضی ازاوقات تنها به‌راهنمایی های سازنده در موردزمان مناسب بازدیدها وتعمیرات دوره‌ای بسنده می‌شود(مثلا" به‌مرجع[۱۰] رجوع شود). درصورتیکه اطلاعات این کاتالوگها صرفا" جنبه راهنمایی داشته وبه‌هیچوجه جوابگوی موارد مربوط به‌زمانهای مناسب تعمیرات تجهیزات درشرایط کاری مختلف نیست . محاسبات به‌کارگرفته شده دراین کاتالوگها معمولا" مربوط به‌از بین رفتن ویا فرسودگی تجهیزات درشرایط کاری معتدل است (مثلا" به‌محاسبات مربوط به‌مدار شکن مرجع[۵] رجوع‌شود). درصورتیکه همانطورکه می‌دانیم تجهیزات همیشه درشرایط کاری معتدل به‌کارگرفته نمی‌شوند وبایستی شرایط کاری رانیزدرنظر گرفت .

دراین مقاله بادرنظرگرفتن تاثیرشرایط کاری درفرسودگی تجهیزات زمان بهینه‌ای برای تعمیرات دوره‌ا استفاده‌ازمدل مارکوف تعیین می‌شود. البته‌چون تعیین پارامترهای مربوط به تاثیرشرایط کاری برای هروسیله‌نیازبه‌بررسی آماری اطلاعات بخصوصی درموردآن وسیله‌داردبه علت موجودنبودن کامل این اطلاعات درمثال ذکرشده‌درمقاله‌ازپارامترهای فرضی‌استفاده‌شده‌است.

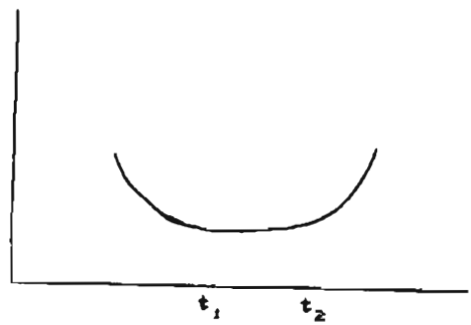
تعمیرات ایده‌آل [۴و۳و۲و۱]

منظورازیک تعمیرایده‌آل تعمیری است که‌پس ازانجام‌آن وسیله‌تعمیرشده‌کاملا" شبیه‌نوشود. مثلا" تصفیه‌یاتعویض روغن یک ترانسفورماتورویاتعویض یک فیوزسوخته‌یایک فیوزسالم رامی‌توان ازجمله‌تعمیرات ایده‌آل درنظرگرفت . البته‌گرچه‌درظاهرتعمیرات ایده‌آل باعث افزایش

قابلیت اطمینان تجهیزات می‌گردندولی درحالت کلی تاثیرتعمیرات ایده‌آل درقابلیت اطمینان بستگی به‌تابع خطرتجهیزات پیدا می‌کندومثلا" حتی می‌تواندسبب کاهش قابلیت اطمینان گردد، تابع خطرچنین تعریف می‌شود،

$$h(t) = \frac{\text{احتمال خراب شدن وسیله‌درفاصله‌زمانی } (t,\ t+\Delta t)}{\text{احتمال سالم‌بودن وسیله‌درفاصله‌زمانی } (0,\ t)}$$

فرم‌کلی تابع خطرچنین است [۲]



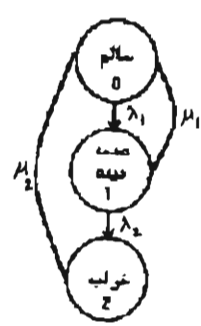
شکل ۱ـ فرم کلی تابع خطـر

دراین تابع فاصله‌زمانی $(0,\ t_1)$ مربوط به‌اشکالات پروسه‌تولیدوسیله می‌باشدکه‌نرخ خرابی بیشتری رانشان می‌دهدوبعددرفاصله‌زمانی $(t_1,\ t_2)$ وسیله‌بانرخ تقریبا" ثابتی خراب می‌شود که‌بستگی به‌شرایط کاری یک وسیله‌داردو $t > t_2$ زمان فرسودگی وسیله‌است که‌دارای نرخ خرابی افزایشی است . البته‌هرگونه‌تعمیرایده‌آلی در $t > t_2$ می‌تواندباعث افزایش طول عمر کارکردوسیله‌گرددولی تعمیرات ایده‌آل درفاصله‌زمانی $(t_1,\ t_2)$ کاملا" بی ثمربود، چون معادل تعویض یک قطعه‌کاملا" نوباقطعه‌کاملا" نودیگری می‌باشد. وتعمیرایده‌آل درفاصله‌زمانی $(0,\ t_1)$ کاملا" به‌ضررسیستم‌می‌باشدچون مشابه‌تعویض یک قطعه‌که‌قسمتی ازدوران تست خودرابا

موفقیت گذرانده‌واحتمالا" دارای طول عمرزیادی است بایک قطعه‌که‌هنوزتست نشده‌است می‌باشد. درمدل مطرحه‌برای تابع خطرهروسیله‌ای که‌مدتی طولانی به‌کارگرفته‌شودواردمرحله‌فرسودگی خود می‌شودورفته‌رفته‌باگذشت زمان احتمال بیشتری خراب می‌شودمثلا" کنتاکتهای یک فیوزبعد از گذشت یک زمان طولانی اکسیده‌شده‌وفیوزخراب می‌شودولی عملا" یک فیوزدربیشتراوقات قبل ازفرسوده‌شدن دراثرجریان زیادلحظه‌ای می‌سوزد. این پدیده‌که‌دارای توزیع پواسون می‌باشدباعث ازبین رفتن فیوزدرفاصله‌زمانی (t_1, t_2) می‌شودوهمانطوریکه‌گفته‌شدتعمیرات ایده‌آل دراین فاصله‌زمانی بی ثاتیراست . ولی دربسیاری مواردوسیله‌یکباره‌خراب نمی‌شودمثلا" شکستگی‌مقره‌ها وقطع خط ممکن است درچندمرحله‌صورت گیردویاآنکه‌خراب شدن روغن ترانسفورماتوربصورت تدریجی انجام‌می‌شود، درنتیجه‌برای بیشتروسایل وتجهیزات که‌خراب شدن درچندمرحله‌صورت می‌گیردنیازبه‌مدل مناسبی است تابااستفاده‌ازآن قبل ازکارافتادن کامل وسیله‌باتعمیراتی‌نسبتا" جزئی بتوان ازخرابی کامل آن جلوگیری کرد. مدل مناسبی که‌ازعهده‌این کاربرمی‌آیدمدل مارکوف است .

مدل مارکوف تعمیرتجهیزات

درمدل مارکوف وضعیت یک وسیله‌باچندحالت مشخص می‌شود. مثلا" درصورتیکه‌مدل ساده‌ای برای یک وسیله‌مدنظرباشدکه‌دارای سه‌حالت سالم‌بودن، صدمه‌دیدن وخراب شدن باشدمدل مارکوف آن به‌صورت زیراست



شکل ۲ ـ نمایش مدل مارکوف یک وسیله

درشکل ۲ خطوطی که‌حالتهای مختلف رابه‌یکدیگرارتباط می‌دهندنمایش دهنده‌تغییروضعیت ازیک حالت به‌حالت دیگرمی‌باشند. ومقادیری که‌روی این خطوط نمایش داده‌شده‌است نرخ انتقال ازیک حالت به‌حالت دیگردرواحدزمان می‌باشد. مثلا" فرض شده‌است که‌تجهیزاتی که‌به‌صورت شکل ۲ مدل شده‌اندبانرخ λ_1 درواحدزمان صدمه‌می‌بینندوـ تجهیزات صدمه‌دیده‌بانرخ λ_2 خـــــراب می‌شوند. البته‌می‌توان تجهیزات صدمه‌دیده‌رابانرخ μ_1 درواحدزمان تعمیرجزئی کرد. ویامنتظـر خرابی کامل آنهاشدوسپس بانرخ μ_2 آنهاراتعمیرنمود.

بیشترتجهیزات سیستم‌قدرت پرهزینه‌بوده‌ودربیشترمواردهزینه‌تعمیرات جزئی بسیارکمتـر ازهزینه‌تعمیرات کلی ویاتعویض کامل وسیله‌می‌باشد. به‌عنوان مثال تعویض روغن ترانسفورماتور بسیاراقتصادی ترازتعویض خودترانسفورماتورمی‌باشد. البته‌درصورتی که‌تعمیرجزئی کامـــــلا" بی هزینه‌انجام‌شودنرخ بهینه‌تعمیرجزئی بینهایت زیادمی‌شود. ولی عملا" تعمیرجزئی بی هزینه امکان پذیرنیست وهمین امرسبب می‌شودتا مقداربهینه‌محدودی برای‌نرخ بهینه‌تعمیرات جزئـی تجهیزات مشخص شودکه‌هزینه‌ها رامینیمم می‌کند.

محاسبه‌نرخ بهینه‌تعمیرات جزئی

دراین قسمت مسئله تعیین نرخ بهینه‌تعمیرات جزئی درواحدزمان رابه‌صورت یک مسئلـــه بهینه‌سازی مطرح وسپس به‌حل آن اقدام‌می‌شود. درفرموله‌کردن مسئله‌به‌صورت مسئله‌بهینه‌سازی نیازبه‌تابع هدف وشرایط (تساوی ویانامساوی) می‌باشد. دراین مقاله‌برای مسئله‌بهینه‌ســـازی تابع هدفی درنظرگرفته‌می‌شودکه‌معادل‌میانگین جمع کل تعمیرات جزئی وکلی تجهیزات درواحـد زمان می‌باشدوسپس نسبت به‌مینیمم کردن این تابع هدف اقدام‌می‌شود. تابع هدف ذکرشده‌به‌صورت زیراست

$$J = \min_{\mu_1} \lim_{T\to\infty} \frac{1}{T} \int_0^T \left(c_1(\mu_1)\mu_1 p_1(t) + c_2(\mu_2)\mu_2 p_2(t)\right) dt$$

که‌درآن $P_1(t)$ ، $P_2(t)$ احتمالهای حالتهای صدمه‌دیدن وخراب شدن درزمان t بوده‌و $c_1(\mu_1)$ و $c_2(\mu_2)$ به‌ترتیب هزینه‌های تعمیرات جزئی وتعمیرات کلی می‌باشند. $\mu_1 P_1(t)$ و $\mu_2 P_2(t)$ امیدریاضی تعدادتجهیزاتی است که‌ازصدمه‌دیدن وخراب شدن به‌سالم‌بودن تغییر حالت می‌دهند. بایک بررسی ساده‌ریاضی می‌توان نشان داد

$$J = \min_{\mu_1} \left(c_1(\mu_1)\,\mu_1 P_1(\infty) + c_2(\mu_2)\,\mu_2 P_2(\infty)\right)$$

که‌درآن $P_1(\infty)$ و $P_2(\infty)$ احتمالهای دائمی حالتهای صدمه‌دیدن وخراب شدن می‌باشند. روابطی‌که برای احتمال حالتهاداریم‌به‌صورت زیرمی‌باشد

$$[\dot{P}_0(t)\ \dot{P}_1(t)\ \dot{P}_2(t)] = [P_0(t)\ P_1(t)\ P_2(t)] \begin{bmatrix} -\lambda_1 & \lambda_1 & 0 \\ \mu_1 & -(\lambda_2+\mu_1) & \lambda_2 \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 \end{bmatrix}$$

که‌درآن منظوراز $\dot{P}_i(t)$ مشتق $P_i(t)$ نسبت به‌متغیرزمان می‌باشد. شرایط اولیه موردنیازبرای حل این معادله‌دیفرانسیل به‌صورت زیرمی‌باشد

$$P_0(0) = 1, \quad P_1(0) = 0, \quad P_2(0) = 0$$

برای حل درحالت دائمی مقادیرمشتق ها رامساوی صفرقراردادەوسپس معادله‌جمع احتمالها برابریک رانیزبه‌معادلات افزوده‌می‌شودخواهیم‌داشت

$$J = \min_{\mu_1} \left(c_1(\mu_1)\,\mu_1 P_1(\infty) + c_2(\mu_2)\,\mu_2 P_2(\infty)\right)$$

s.t.

$$\begin{aligned} -\lambda_1 P_0(\infty) + \mu_1 P_1(\infty) + \mu_2 P_2(\infty) &= 0 \\ \lambda_2 P_1(\infty) - \mu_2 P_2(\infty) &= 0 \\ P_0(\infty) + P_1(\infty) + P_2(\infty) &= 1 \end{aligned}$$

پس ازحل دستگاه معادلات بالاداریم

$$P_0(\infty) = (\mu_1\mu_2 + \lambda_2\mu_2)/\Delta$$
$$P_1(\infty) = \lambda_1\mu_2/\Delta$$
$$P_2(\infty) = \lambda_1\lambda_2/\Delta$$

کهدرآن Δ مطابق رابطهزیرمیباشد.

$$\Delta = \lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda_2\mu_2$$

پس ازجایگذاری مقادیراحتمالهادرتابع هدف بهینهسازی بدون شرط زیرحاصل میشود.

$$J = \min_{\mu_1} \frac{c_1\lambda_1\mu_1^2\mu_2 + c_2\lambda_1\lambda_2\mu_2^2}{\lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda_2\mu_2}$$

کهدرآن برای سادگی ازروابط $C_1(\mu_1) = C_1\mu_1$ $C_2(\mu_2) = C_2\mu_2$ استفادهشدهاست . البته منطق چنین روابطی اینست کهاگرنرخ بازدیدوتعمیرتجهیزات افزایش پیداکندهزینهتعمیریک وسیلهنیزبههمان نسبت افزایش مییابد. البتهاین تقریب ممکن است دقیق نباشدولی اگرتخمین بهتری دردسترس نباشدمیتوان بهآن اکتفاکرد.

حال میتوان تابع هدف بالارامینیمم کردومقداربهینهنرخ تعمیرات جزئی μ_1 راتعیین کرد. برای این کارمشتق J نسبت به μ_1 رامساوی صفرقرارمیدهیم.

یعنی $\frac{\partial J}{\partial \mu_1} = 0$

$$2c_1\lambda_1\mu_1\mu_2(\lambda_1\lambda_2 + \lambda_1\mu_2 + \mu_1\mu_2 + \lambda_2\mu_2) - \mu_2(c_1\lambda_1\mu_1^2\mu_2 + c_2\lambda_1\lambda_2\mu_2^2) = 0$$

ویابهصورت سادهشدهآن

$$(c_1\lambda_1\mu_2^2)\mu_1^2 + (2c_1\lambda_1\mu_2(\lambda_1\lambda_2 + \lambda_2\mu_2))\mu_1 - c_1\lambda_1\lambda_2\mu_2^3 = 0$$

همانطورکهدیدهمیشوداین معادلهنسبت به μ_1 درجهدومبودهوباجایگذاری مقادیرپارامترها μ_1

به‌راحتی‌قابل محاسبه‌می‌باشد. مثال زیرمقداربهینه‌نرخ تعمیرات جزئی رابرای مقادیرخاصی‌از پارامترهامحاسبه‌می‌کند.

مثال عددی

دراین مثال فرض می‌شودکه‌نوع خاصی ازتجهیزات ازمدل مارکوف شکل ۲ پیروی می‌کندکه‌برای آن مقادیرپارامترهای مدل به‌صورت زیردردست است

$$\lambda_1 = .2$$
$$\lambda_2 = .5$$
$$\mu_2 = .1$$
$$c_1 = 1$$
$$c_2 = 100$$

همانطورکه‌دیده‌می‌شودهزینه‌تعمیرات کلی ۱۰۰ برابرهزینه‌تعمیرات جزیی فرض شده‌که‌دربسیاری ازمواردچنین نسبت بزرگی کاملا" معمول است . باتوجه‌به‌این مقادیربرای پارامترها μ_1 ازرابطه زیربدست می‌آید

$$.2(.01)\mu_1^2 + 2(.2)(.1)(.1+.05)\mu_1 - 100(.2)(.5)(.1)^3 = 0$$

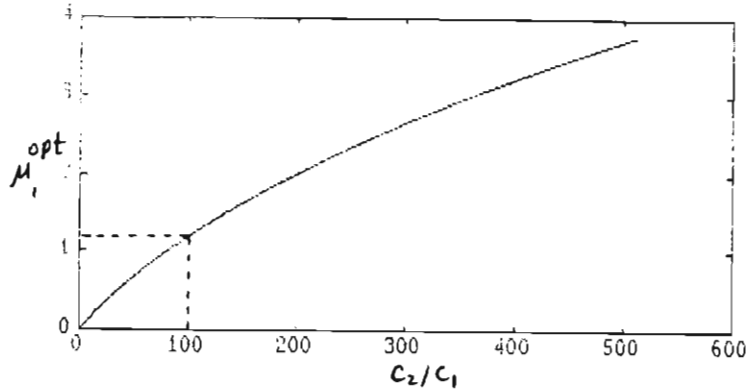
مقدار μ_1برابراست با

$$\mu_1 = 1.19$$

ومقدارمینیمم تابع هدف به‌ازای این مقداربرابراست با

$$J_{Min} = \frac{.2[1.19]^2[.1] + 100[.2][.5][.1]}{.2[.5] + .2[.1] + 1.19[.1] + .5[.1]} = .444$$

درشکل ۳ تغییرات نرخ بهینه‌تعمیرات جزیی برحسب نسبت c_2/c_1 رسم‌شده‌است .



شکل ۳ ـ نمایش μ_1^{opt} برحسب c_2/c_1

همانطورکه‌درشکل مشخص است هرچه‌نسبت c_2/c_1 افزایش پیدامی‌کندیعنی هزینه تعمیرات جزئی نسبت به‌هزینه‌تعمیرات کلی کمترمی‌شودنرخ بهینه‌تعمیرات جزئی درواحد زمان افزایش پیدامی‌کندوبالعکس اگرخرابی وسیله‌هیچ هزینه‌ای نداشته‌باشدنرخ بهینه‌تعمیرات جزیی نیزصفرمی‌شودیعنی‌هیچ نیازی به‌تعمیرجزیی دراین موردنمی‌باشد.

نتیجه :

دراین مقاله‌تعیین نرخ بهینه‌تعمیرات جزئی تجهیزات درواحدزمان موردبررسی قرارگرفت . همانطورکه‌ذکرشددربسیاری ازمواردخرابی تجهیزات درچندمرحله‌صورت می‌گیردودراینصورت تعمیرات دوره‌ای می‌توانندنقش عمده‌ای رادرافزایش قابلیت اطمینان وسیله‌ایفاکنند. وافزایش قابلیت اطمینان تجهیزات نیزبالطبع دربهبودقابلیت اطمینان سیستم‌موثراست . البته تعمیرات دوره‌ای نمی‌توانندبی‌رویه‌صورت گیرندچون علاوه‌برغیراقتصادی بودن می‌توانندبا افزایش مدت زمان کارنکردن وسیله‌باعث کاهش قابلیت اطمینان تجهیزات نیزبشوند. دراین مقاله‌بررسی انجام‌شده‌برای تعیین نرخ بهینه‌تعمیرات جزئی تجهیزات براساس مدل مارکوف انجام‌گرفت . البته‌مدل پیشنهادی رامی‌توان برای تجهیزاتی درچندمرحله‌ازکارمی‌افتندتکمیل

کردوتئوری مربوطه‌منطبق برکارهایی است که‌دراین مقاله‌توضیح داده‌شده‌است . ولی برای‌سادگی ارائه‌مطلب تنها‌مدل مارکوف سه‌حالته‌مطرح وبررسی شدکه‌خودآن نیزبه‌نتایج جالبی منتهی شد.

مهمترین مسئله‌ای که‌درتعمیرونگهداری تجهیزات مطرح است کمبوداطلاعات جمع آوری شده است . همانطوریکه‌درمثال عددی دیدیم‌برای محاسبه‌مقداربهینه‌نرخ تعمیرات جزئی درواحدزمان نیازبه‌تعداددانستن تعدادزیادی مقادیرپارامترهامی‌باشدکه‌بایستی باکارهای آماری ازروی - اندازه‌گیری هاتعیین شوندولی هنوزاینگونه‌اطلاعات دردسترس نیستندوکارهای آماری برروی اطلاعات جمع آوری شده‌به‌تازگی شروع شده‌است . وشایدازاهداف مهم‌مقالات منتشره‌درزمینه تعمیرونگهداری همان ایجادعلاقه‌برای جمع آوری وبررسی‌چنین اطلاعاتی باشد. بادردسترس قرار داشتن چنین اطلاعاتی برنامه‌ریزان می‌توانندباروشهای موجودبرنامه‌های بهینه‌ای برای تعمیر ونگهداری ودرنتیجه‌بهره‌برداری بهترازتجهیزات تهیه‌واجراکنند. دراینجالازم‌است که‌ازبرق منطقه‌ای اصفهان برای دسترس قراردادن اطلاعات موجودقدردانی شود.

مراجع:

۱ مهندسی تعمیرات ونگهداری ، دکترنظام‌الدین فقیه، انتشارات نویدشیراز، ۱۳۶۸.

2 D.L. Grosh, A Primer of Reliability Theory, John Wiley, 1989.

3 R.Billint R.N. Allan, Reliability Evalua tion of power systems, pitman Advanced publishing program, 1984

4 J.Endrenyi, Reliability modling in Electric power systems, John wiley, 1978.

5 G.Carpinelli et.at, on the Evaluation of Mean Time between maintenances of circuit breaker for industrial plants, IEEE PAS-103 no 7 July 1984.

6 R.Mukerji J.H. Parker, power plant Maintenance scheduling ; optimizing Economics and Reliability, IEEE power systems vol 6,no 2, May 1991.

7 H.H. Zurn & V.H. Quintana, several obijective criteria for optimal Generator preventive Maintenance scheduling, IEEE PAS-96, no 3, May/June 1977.

8 L.Chen & J Toyoda, IEEE power systems vol 6 no 3, Aug. 1991 optimal Generating unit Maintenance scheduling for multiarea system with network constraints.

9 T.M. AL-Khaminy et, unit maintenance scheduling with Fuel constraints IEEE Trans. on power systems, vol 7. no.2, May 1992.

10 SF6-outdoor Circunt Brcaker HGF 216/2B-CR Calalog, SPRECHER ENERGIE.