



چهارمین کنفرانس شبکه‌های توزیع نیرو

تاثیر هارمونیک‌های جریان بر زمان عمل رله های IDMT در شبکه های توزیع

فروزان قاسمی - سعید میرزائی - سید حسن هاشمی - مهدی غفاری
دانشگاه صنعتی اصفهان - دانشکده برق

چکیده مقاله :

یکی از معضلات صنعت برق مخصوصاً در سیستم‌های توزیع برق فشار متوسط حفاظت آنها در برابر حوادث احتمالی مانند اتصال یک‌فاز به زمین و یا اتصال فازها به یکدیگر می‌باشد. از آنجائیکه اکثر جریانهای اتصال کوتاه دارای امواج با فرکانسهای مختلف می‌باشد بنابراین تاثیرات مختلفی روی عملکرد رله ایجاد می‌کند، که در این مقاله به شرح آن می‌پردازیم.

در این مقاله بر روی یک رله IDMT (رله الکترومغناطیسی جریان) آزمایشاتی انجام گرفته و در حالت‌های مختلف جریان بزمان عمل رله اندازده‌گیری شده است و مشخصه رله در هر حالت بدست آمده است که می‌توان از نتایج این مقاله و با توجه به امکانات موجود اطلاعات مفیدی و قابل اطمینان از عملکرد رله IDMT در خط‌های مضعف‌تر بدست آورد و از آن در تنظیم اینگونه رله‌ها در پست‌های برق فشار متوسط استفاده نمود.

شرح مقاله :

قبیل از آنکه تاثیرات هارمونیک‌های جریان بر روی رله IDMT توضیح دهیم مضمون این مقاله را راجع به نحوه ایجاد سیگنال و تقویت آن شرح می‌دهیم. ایجاد سیگنال‌های مختلف از دو طریق دیجیتال و آنالوگ توسط سیستم‌های الکترونیکی ساخته می‌شود. اما چون سیستم‌های الکترونیکی آنالوگ انعطاف کمتری دارند بنابراین این سیستم‌های الکترونیکی دیجیتال مناسبتر است، مانند مدیون کامپیوتر هاو میکروپروسورها، در این آزمایش با استفاده از یک کامپیوتر ۳۸۶ شکل

موجهای دلخو اهر ابا اسکنداره از روابطی که داند ساخته می شود و روی مهنه کامپیوتر نمایش داده می شود، در موربتیکه شکل موج درست باشد با اسکنداره از کارتهای D/A (دیجیتال به آنالوگ) کلیه اطلاعات بدست آمده از کامپیوتر به صورت آنالوگ در خروجی ظاهر می شود و شکل موج بدست آمده از آمپلیتور روی مهنه اسیلوسکوپ مشاهده نمود. سیگنال بدست آمده، اولاً افران اندکی دارد، ثانیاً یک سیگنال ولتاژ است.

بنابر این بایستی توسط یک تقویت کننده جریان و اهنه به ولتاژ جریان مورد نیاز را تامین کنیم که این عمل توسط یک تقویت کننده جریان در فرکانس 60W عملی خواهد شد. کار این تقویت کننده آن است که شکل موج جریان را مانند آنچه که به آن اعمال شده است موجود آورد و در موربتیکه در شکل موج ورودی تغییراتی داده شد دقیقاً همان تغییرات نیز روی شکل موج جریان بافر اعمال شود. [1,2,3]

نکاتی که قابل مامل است آنستکه در این آزمایش فرض بر آن است که ترانسفورماتورهای جریان C.T هرگز به اشباع نمی روند تا بافراتیم تکنها تاثیر شکل موج جریان خطا را روی رله در نظر بگیریم.

ثانیاً الضریب تقویت جریان در تقویت کننده جریان به اندازهای است که هسته الکترومغناطیسی رله نیز به اشباع نمی رود تا باعث مختل شدن کار رله شود.

شمای کلی سیستم آمپلیتور در شکل (۱) مشاهده نمود.

در شکل (۲) آزمایشگاه و دستگاه به ترانه مشاهده می کنید. در سمت راست IDMT سه فاز و در پشت رله نیز تقویت کننده جریان وجود دارد که اطلاعات داده شده توسط کامپیوتر تقویت شده و به رله اعمال شده است. قسمت دیگر مهنه کامپیوتر مشاهده می کنید که شکل موج دلخو اهر توسط رله ای که به کامپیوتر داده شده است روی مهنه مشخص شده است و در قسمت دیگر نیز مهنه اسیلوسکوپ قرار دارد که شکل موج ورودی تقویت کننده و شکل موج اعمالی به رله را نشان می دهد.

آنچه که جالب توجه است آنستکه جریان به اندازهای که کامپیوتر درخواست کرده است تقویت شده است و شکل موج سیگنال بدست آمده از کامپیوتر با شکل موج جریان اعمال شده به رله دقیقاً منطبق هستند.

شرح آزمایشات انجام شده :

در آزمایشگاه، سه آزمایش مختلف انجام شده است که در این قسمت به شرح هر کدام از آنها می پردازیم.

آزمایش اول :

در این آزمایش شکل موج اعمالی به رله دقیقاً الینوسی می باشد و در جریانهای مختلف، رله آزمایش و عکس العمل رله مشخص شده است.

به عنوان مثال جریان خطار A 4 در نظر گرفته ایم و شکل موج سینوسی همانند شکل (۳) روی میزگانه کامپیوتر مشخص شده است. از طریق مشخصه ای که کارخانه سازنده در اختیار ممبرت میکنند گذشته است می توان زمان عمل رله را بصورت تئوری حساب نمود که از رابطه (۱) و بانوجهه جریان اتصال کوتاه می توان زمان عمل رله را محاسبه نمود.

$$t_{opt}(\text{زمان عمل رله}) = \frac{0.14 * T_M}{\left(\frac{I_f}{PS * I_n} - 1 \right) * 0.02} \quad (1)$$

که T_M در حقیقت (time multiplier) یا ضریب زمانی (plug-setting) PS یا ضریب جریان است که بانوجهه به سیستم و نحوه عملکرد در له تنظیم می شود و تنظیم آن توسط مهندسان حفاظت انجام می گیرد و I_f جریان اتصال کوتاه ارجاع داده شده به ثانویه C.T و I_n جریان نامی رله است. در این آزمایش رله به صورت زیر تنظیم شده است.

$$T_M = 1.0 \quad P.S = 2.0$$

جریان نامی رله $I_n = 1.0 \text{ A}$ می باشد، بنابراین این بانوجهه اطلاعات موجود می توان زمان عمل رله را محاسبه نمود.

$$t_{opt} = \frac{0.14 * 1.0}{\left(\frac{4.0}{2.0 * 1.0} - 1 \right) * 0.02} = 10.03 \text{ sec}$$

از لحظه ای که سیگنال ارسال می شود تا زمانیکه رله عمل می کند بایستی زمان را با 10.03 ثانیه را داشته باشیم.

روی میزگانه کامپیوتر در کنار شکل موج زمان ارسال اطلاعات بر این با

start time = 8:25:4-20 است و زمانیکه رله عمل نموده است بر این با

end time = 8:25:14-36 است بنابراین این اختلاف زمان ارسال و توقف سیگنال بر این با 10.16 sec است که نشان می دهد با آنچه تئوری گفته است سازگار است پس از سالم بودن رله اطمینان کامل حاصل می کنیم.

البته این آزمایش در حالت های مختلف رله انجام می گردد و مشخصه رله بطور کامل مشخص می شود تا با اطمینان بیشتری از سالم بودن رله اطمینان حاصل کنیم.

در شکل (۳) سیگنال اعمال شده و و کامپیوتر مشخص شده است و نتایج و محاسبات انجام

شد همچنین شکل (۳) بیگنال ساخته شد و اعمال شد به رله رانیز مشخص می کند که شکل موج

(۳-۸) بیگنال خروجی کامپیوتر و شکل موج (۳-۹) نیز جریان $I_f = 4 \text{ A}$ است که به رله اعمال شده است. جهت مشخص نمودن جریان از یک مقاومت $100 \text{ W}, 0.285 \text{ ohm}$ استفاده شده که جریان از آن عبور می کند و ولتاژ دوسر آن مقدار جریان مشخص می کند.

$$I_f = 1.4142 * 4 * \sin(100 * 3.14 * t)$$

$$V = 4 * 0.285 = 1.14 \text{ volt}$$

$$V = 1.14 * 1.4141 * \sin(100 * 3.14 * t)$$

روی شکل های (۳) و (۴) نیز در حالتیکه اسکوپ روی $\text{volt/div} = 0.1 \text{ volt}$ و یروب اسکوپ $\times 10$ تنظیم شده است تعداد خانه هاشی که شکل موج روی آن قرار دارد دقیقاً 3.2 خانه می باشد که با شکل موج خروجی کامپیوتر یکسان و دوسر آن ولتاژ V است آنچه که از این آزمایش نتیجه می شود عبارتست از:

۱- مشخصه رله IDMT با توجه به مشخصه ای که از سازنده آن دریافت شده است مطابقت دارد بنابراین این رله کاملاً سالم است.

۲ در حالتیکه شکل موج جریان سینوسی باشد می توان دقیقاً زمان عمل رله را بدست آورد و پیش گویی نمود.

نتایج آزمایشهای انجام شده در حالت های مختلف جریان می توان در جدول (۱) مشاهده نمود.

آزمایش دوم:

در این حالت شکل موج جریان علاوه بر هارمونیک اصلی دارای هارمونیک های سوم و پنجم نیز می باشد و با آنچه بیشتر در عمل اتفاق می افتد مطابق است زیرا در سیستم های توزیع به دلیل عدم یکتو اختی بارها و مصرف کنندگان هادر تر انشور ماتور های توزیع جریانهای هارمونیک سوم و پنجم ایجاد می گردد.

در مورتیکه اضافه بار و یا اتصال کوتاهی در شبکه رخ دهد در ثانویه C.T نیز همان جریان القا شده و به رله اعمال می شود بنابراین این به دلیل غیر سینوسی بودن شکل موج جریان زمان عمل رله با آنچه که در تئوری مشخص می کنند مغایرت خواهد داشت، به عنوان مثال در شکل (۵) یک شکل موج جریان مشاهده می کنید که دارای امپله زیر است.

$$I_f = A * \sin(100 * 3.14 * t) + 10\% * A * \sin(300 * 3.14 * t) + 20\% * A * \sin(500 * 3.14 * t) \quad (۲)$$

اگر رله بصورت $TM = 1.0$ و $PS = 2.0$ تنظیم شده باشد زمان عمل رله با توجه به دامن

جریان داده شده $(A = 1.4141 * 5)$ میلی‌آمپر است و $t_{opt} = 7.57 \text{ sec}$ بدست می‌آید. در صورتیکه مدت زمان ارسال و قطع سیگنال میلی‌آمپر است و $t_{opt} = 8.29 \text{ sec}$ مشخص می‌کند (در این حالت مقدار موثر مولفه اصلی جریان برابر 5 A است).
 خطای زمانی 0.72 sec ناشی از تغییر شکل موج جریان از حالت سینوسی خواهد بود اگر چه کل سیستم خطای نسبی برابر 1.3% نیز دارد.
 در شکل (۶) نیز شکل موج جریان تقویت شده دقیقاً مشخص شده است و با شکل موج کامپیوتر یکسان است.

آنچه که حائز اهمیت است افزایش زمان عمل‌رله در حالتی است که جریان خطا دارای هارمونیکهای سوم و پنجم است که افزایش زمان در جریانهای کمتر محسوس‌تر است، که در جدول (۱) نتایج بدست آمده است. مثلاً اگر حالتیکه مولفه اصلی جریان را روی 3 A تنظیم نموده ایم زمان عمل‌رله بصورت محاسباتی برابر 17.19 sec بدست آمده است و نوسانی آنچه که در عمل مشاهده می‌کنیم زمانی برابر 33.72 sec است که تقریباً دوبرابر زمان محاسباتی است و این باعث پیچیده‌تر شدن تنظیم رله روی سیستم‌های برق فشار متوسط می‌شود و دقیقاً نمی‌توان عمل‌رله را روی مانیکه مورد انتظار است پیش‌گوشی نمود. علت افزایش زمان عمل‌رله را می‌توان عوامل زیر دانست:

- ۱- عدم سینوسی بودن شکل موج جریان
- ۲- چون جریان دارای هارمونیکهای مختصی است و با توجه به اینکه هسته رله الکترو-مغناطیسی نیز اشباع نمی‌شود بنابراین این ایجاد شار غیر سینوسی می‌کند که شار ایجاد شده علاوه بر هارمونیک اصلی دارای هارمونیکهای سوم و پنجم نیز می‌باشد. بنابراین در نامه‌ها و این که معنه آکومینتو می‌گردد در نتیجه شار ایجاد شده در مقایسه با شکل موج کامل سینوسی ممکن است کاهش یابد و در نتیجه گشتاور ایجاد شده روی معنه آکومینتو می‌تواند کاهش می‌یابد و بنابراین این رله در زمان بیشتری فرمان تریپ (Trip) می‌دهد. در صورتیکه هسته رله نیز به اشباع رود حساسیت رله کمتر از حالت قبلی شده و زمان قطع رله بیشتر از حالت قبلی خواهد شد. (البته زمان عمل‌رله بستگی به ساختمان داخلی آن نیز دارد) [8]

آزمایش سوم:

در این آزمایش شکل موج جریان مدل‌های AC به DC ۶ پالس‌ر ابرله اعمال نمودیم این این شکل موج علاوه بر هارمونیکهای ۳ و ۵ شامل هارمونیکهای ۷، ۱۱، ۱۳ و ۱۷ نیز می‌باشد که با استفاده از دستگاه هارمونیک‌سنج که در دانشگاه صنعتی امین‌پناه احی ساخته شده است، می‌توان آن‌ها را مشخص کرد.

این آزمایش ابتدا در ژوب آهن امین‌پناه در حالتیکه موتورهای DC در حال نورد نمودن شمش‌های آهن هستند و توان فوق‌العاده زیادی را مصرف می‌کنند نمونه برداری شد و توسط

دستگاه هارمونیک‌سنج در مد هارمونیک‌های آن سنجیده شد. سپس شکل موج آن‌روی منحنی کامپیوتر شبیه‌سازی‌شده و به‌رله IDMT اعمال‌شده که در این حالت نیز زمان عمل رله با آنچه که محاسبه شده است اختلاف دارد. مثلاً در حالتیکه رله روی $PS=2.0$ و $TM=0.5$ جریان خط‌دادار ایدامنه $I_{fm} = 1.4141 * 5 A$ است زمان عمل رله به‌مورث محاسباتی برابر 3.78 sec بدست آمده است ولی زمان عمل واقعی آن 4.5 sec است که 0.72 ثانیه اختلاف زمانی دارد که دلیل آن نیز قبلاً " توضیح داده شده است. شکل‌های (۷) و (۸) نتایج آزمایش را نشان می‌دهد و رابطه (۳) تابع جریان را مشخص می‌کند.

$$\begin{aligned}
 I_f = & A * \sin(100 * 3.14 * t) + 1.8\% * A * \sin(300 * 3.14 * t) + \\
 & 18.8\% * A * \sin(500 * 3.14 * t) + 9.4\% * A * \sin(700 * 3.14 * t) + \quad (3) \\
 & 9.4\% * A * \sin(1100 * 3.14 * t) + 5.3\% * A * \sin(1300 * 3.14 * t) + \\
 & 4.7\% * A * \sin(1700 * 3.14 * t)
 \end{aligned}$$

البته همیشه نمی‌توان گفت که تاثیر هارمونیک‌ها باعث افزایش زمان عمل می‌باشند چون در آزمایش دیگری که انجام شد زمان عمل رله کمتر از زمان محاسباتی است که نتایج آن در جدول (۱) آمده است. در این آزمایش فقط هارمونیک سوم جریان و هارمونیک اصلی وجود دارد.

نتیجه‌گیری:

آنچه که از این مقاله می‌توان نتیجه گرفت آنست که اولاً "از دستگاه تست‌رله موجود می‌تواند هر نوع شکل موج ابرله اعمال کنیم و در صورتیکه روی سیستمی خطای اتقاق افتاد می‌توان با ضبط منحنی‌های آن و بازسازی کامپیوتری آن مطالعه دقیق‌تری روی زمان عمل رله در آزمایشگاه انجام داد.

ثانیاً تاثیر کلیه هارمونیک‌های جریان را روی رله IDMT مشخص می‌کند که می‌توان این آزمایشات را روی سایر رله‌های دیگر انجام داد و تاثیرات آن‌ها را نیز مطالعه نمود.

در آینده نزدیک واحد اصلی دستگاه تست‌رله با توجه به خروجی‌های ایجاد جریانهای بلافاصله خواهد شد. امید می‌رود نتایج مفیدتر و بهتری ارائه گردد و در صنعت برق کشور مورد استفاده قرار گیرد.

تقدیر از نویسنده:

از مسئولین شرکت سرق‌منطقه ای امه‌هان در ارائه رله IDMT و امکانات فنی و از مسئولین شرکت ذوب آهن امه‌هان در ارائه خدمات آن شرکت و از مسئولین دانشگاه صنعتی امه‌هان

مراجع :

- [1] Tunncliffe A, "Computer Controlled Protection Testing, A Western Australian Experience", IEE, 1988
- [2] Laycock W.J, " On Site Testing Of Protection and Automatic Switching Equipment in 275 and 400 KV Substations", IEE, 1988
- [3] Webb A.C., "Computer Generation of Test Quantities for Testing Protection Relays" ,Fourth International Conference on Development in Power System Protection, IEE, 1988
- [4] Bennett A ,Webb A.C., "Computer Techniques for the Monitoring and Testing of Modern Protection Relays", CIGRE, 1990
- [5] D.Simpson , "Development and Implementation of a Protection Equipment Test System", Power Engineering Journal, July 1990
- [6] Kimura S. ,Okamura M. ,Andow F., Mitani I. , "Automatic Test Facilities Built into Protective Equipment and Service History ", CIGRE, 1992
- [7] P.G. McLaren, R.Kuffel, R.Wierckx, J.Giesbrecht, " A Real Time Digital Simulator for Testing Relays", Trans. on Power Delivery ,Vol. 7 No. 1 ,January 1992
- [8] A Report Prepared by Power Relating Committee of the IEEE power Engineering Society , "SINE-WAVE DISTORTIONS IN POWER SYSTEMS AND THE IMPACT ON PROTECTIVE RELAYING", IEEE, 1984

PS	TM	If (A)	زمان محاسبه شده (sec)	زمان اندازه گیری شده (sec)
۳/۰۰	۱/۰	۴/۰	۱۰/۰۳	۱۰/۱۶
۳/۰۰	۱/۰	۵/۰	۷/۵۷	۷/۶۵
۳/۰۰	۰/۵	۵/۰	۳/۷۸	۳/۸۶
۳/۰۰	۰/۵	۳/۰	۸/۶	۸/۵۲
۱/۰۰	۰/۵	۳/۷۹	۲/۶	۲/۵۹
۱/۰۰	۱/۰	۱/۸۹	۱۰/۸۹	۱۰/۹۰

الف: شکل موج جریان سینوسی است

PS	TM	If (A)	زمان محاسبه شده (sec)	زمان اندازه گیری شده (sec)
۳/۰۰	۱/۰	۵/۰	۷/۵۷	۶/۵۴
۰/۵۰	۱/۰	۰/۷	۳۰/۷۳	۳۰/۴۴
۱/۳۵	۱/۰	۳/۰	۱۴/۸۳	۱۱/۹۷
۱/۳۵	۱/۰	۳/۰	۷/۶۳	۷/۳۰
۱/۳۵	۱/۰	۳/۰	۷/۶۳	۷/۳۰

ب: شکل موج جریان دارای هارمونیک سوم است

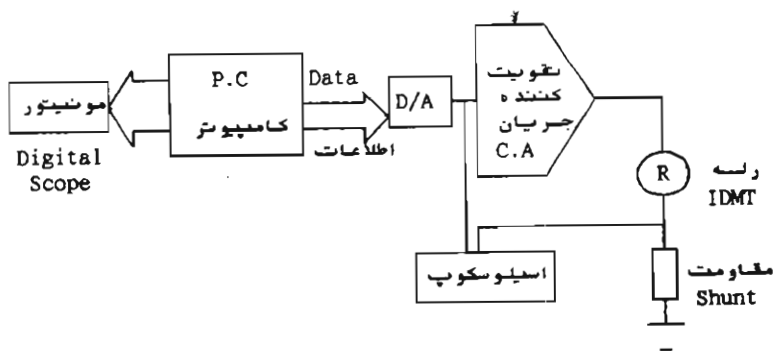
PS	TM	If (A)	زمان محاسبه شده (sec)	زمان اندازه گیری شده (sec)
۱/۳۵	۱/۰	۳/۰	۷/۹۳	۸/۸۴
۱/۳۵	۱/۰	۳/۰	۱۴/۸۳	۲۵/۰۴
۰/۵۰	۱/۰	۰/۷	۳۰/۷۳	عمل نمی کنند
۰/۵۰	۱/۰	۱/۰	۱۰/۰۳	۱۶/۰۴

ج: شکل موج جریان دارای هارمونیک سوم و پنجم است

PS	TM	If (A)	زمان محاسبه شده (sec)	زمان اندازه گیری شده (sec)
۳/۰۰	۰/۵	۵/۰	۳/۷۸	۴/۵
۱/۰۰	۰/۵	۵/۰	۳/۱۴	۳/۸۶
۱/۰۰	۱/۰	۴/۰	۴/۹۸	۵/۹۹

د: شکل موج جریان بولت AC to DC

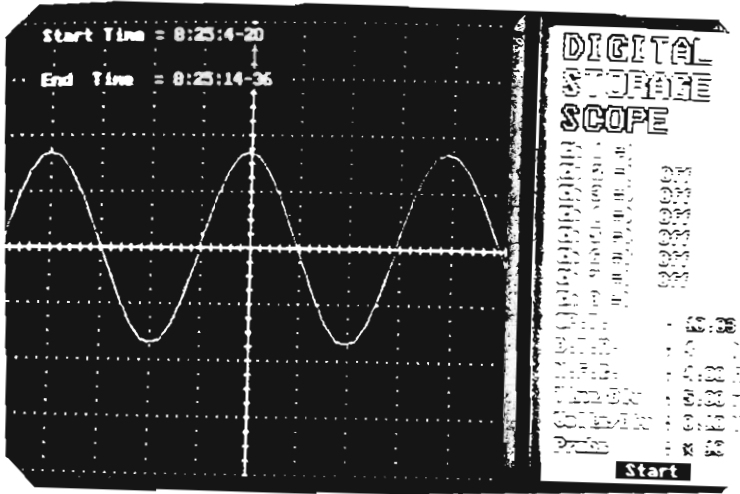
جدول ۱



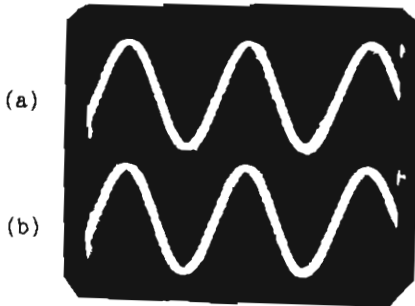
شکل ۱: شمای کلی دستگاه تست رله



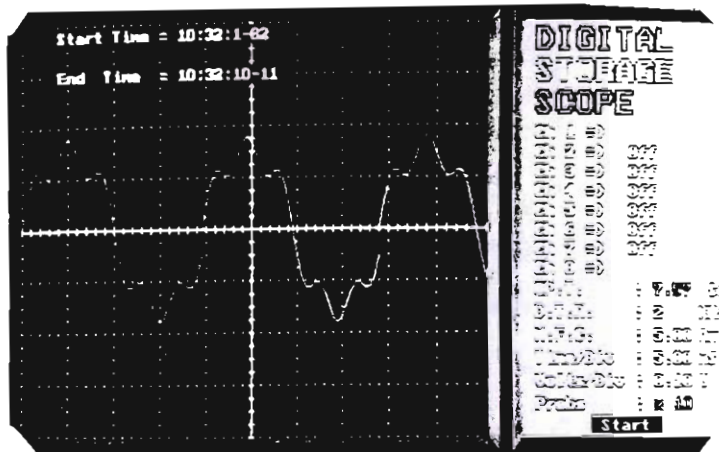
شکل ۲: شمای کلی از آزمایشگاه رله و حفاظت



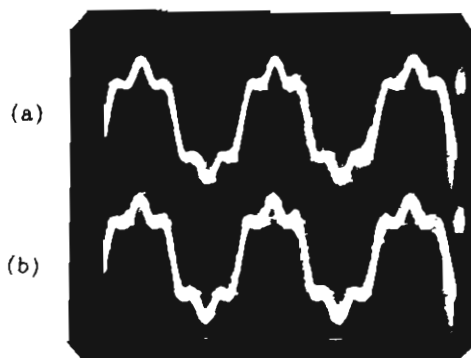
شکل ۳ : اعمال شکل موج سینوسی به دله



شکل ۴ : (a) خروجی کامپیوتر
(b) جریان دله



شکل ۵ : شکل موج جریان دارای
هارمونیک سوم و پنجم است



شکل ۶ : (a) خروجی کامپیوتر
(b) جریان رله

