

MODIFIKASI DAN IMPLEMENTASI RELAI ELEKTRONIK TEGANGAN LEBIH DAN TEGANGAN KURANG UNTUK JARINGAN LISTRIK SATU FASA

Oleh
Sunomo

Abstrak

Tujuan penggunaan relai elektronik tegangan lebih dan tegangan kurang untuk jaringan listrik satu fasa adalah untuk memutus tegangan jaringan satu fasa ke pemakai (beban) secara otomatis untuk melindunginya dari kemungkinan kerusakan jika oleh suatu sebab, tegangan jaringan listrik naik melebihi batas normalnya atau turun melampaui ambang batas minimum yang telah ditentukan. Beban yang dilindungi dapat berupa: televisi, video, perangkat tata suara, komputer dan peralatan listrik atau elektronik lainnya. Modifikasi dan implementasi dimaksudkan sebagai pengembangan dan pelaksanaan dalam bentuk rangkaian nyata berdasar gambar diagram blok dari TS Madava Rao, profesor teknik listrik berkebangsaan India.

Gambar blok diagram Rao untuk tegangan lebih dan tegangan kurang yang menggunakan dua saklar pemutus maknetik pada keluarannya, oleh penulis dikembangkan dan diwujudkan menjadi hanya menggunakan satu saklar pemutus maknetik saja, dilengkapi dengan indikator audio dan visual. Indikator audio berupa sistem alarm yang akan berbunyi jika tegangan jaringan telah naik atau turun melebihi batas yang telah ditentukan bersamaan dengan memutusnya kontaktor. Indikator visual berupa tiga buah diode pancar cahaya yang masing-masing menunjukkan apakah tegangan jaringan sedang dalam batas normal, melebihi atau kurang dari harga pengaturan yang telah ditetapkan.

Uji laboratorium terhadap rangkaian menunjukkan kinerja yang memuaskan dalam arti mampu bekerja memutus jaringan ke beban sesuai dengan rancangan pada pengaturan 140 volt dan 260 volt. Pada tegangan jaringan 380 volt alat masih bekerja, pada 440 volt sekering pemutus bekerja memutus catu daya ke rangkaian sehingga relai elektronik sepenuhnya terbebas dari jaringan.

Pendahuluan

Oleh adanya berbagai gangguan terhadap sistem, tegangan jaringan listrik seringkali mengalami gejolak naik

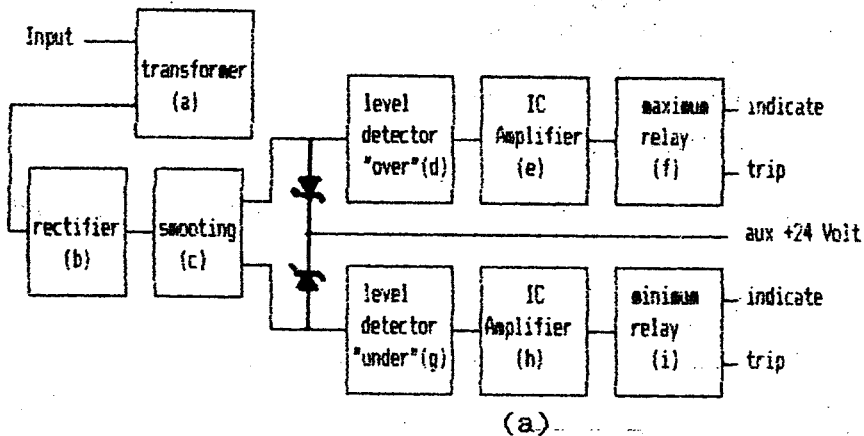
dan turun dari harga normalnya. Dalam batas-batas tertentu, kebanyakan peralatan listrik atau elektronik masih bisa bertahan. Namun, jika naik atau turunnya sampai berada di luar toleransi, peralatan yang tersambung dengan jaringan dalam keadaan hidup dapat menjadi rusak. Naiknya tegangan jaringan sampai sekitar 400 Volt yang kadang dialami konsumen sering memakan korban barang elektronik mewah seperti video dan sistem perangkat tata suara. Dalam peralatan sistem stabilisator tegangan yang kini banyak dijual di pasaran, gejala tegangan jaringan dapat distabilkan sepenuhnya oleh sistem pengatur otomatiknya. Namun, oleh suatu hal dapat terjadi bahwa sistem otomatiknya gagal bekerja, yang akhirnya sama saja, dapat berakibat fatal bagi pesawat yang memakainya. Untuk mencegah kerusakan peralatan listrik atau elektronik yang disebabkan oleh gejala tegangan jaringan yang ekstrem, diperlukan suatu rangkaian pelindung yang dikenal dengan nama relai tegangan lebih dan tegangan kurang (*over and under voltage relays*). Istilah relai elektronik menunjukkan bahwa relai tersebut dibuat dari komponen elektronika, sedang jaringan listrik satu fasa menunjukkan aplikasi relai dalam sistem jaringan.

TS Madava Rao, seorang profesor teknik listrik berkebangsaan India dalam bukunya: "Power Sistem Protection; Static Relays" memberikan pembahasan mengenai relai elektronik untuk tegangan lebih dan tegangan kurang. Dalam istilah teknik listrik, relai ini disebut relai pelindung (*protective relay*). Namun, seperti umumnya buku-buku teks, Rao hanya berhenti sampai blok diagram saja. Untuk dapat menjadikannya sebagai benda nyata yang dapat berfungsi sesuai dengan kegunaannya, mahasiswa teknik elektro/elektronika maupun para praktisi harus mampu menjabarkannya dalam bentuk gambar rangkaian lengkap sehingga dapat dirakit.

Berdasar konsep dari Rao tersebut, penulis telah memodifikasi dan mengimplementasikannya menjadi rangkaian nyata yang telah diuji coba dalam laboratorium pendidikan teknik elektro FPTK dan bekerja baik sesuai dengan rancangan.

Konsep Dasar Relai Pelindung Tegangan Lebih dan Tegangan Kurang

Konsep dasar relai pelindung tegangan lebih dan tegangan kurang yang dinyatakan oleh Rao dalam bentuk gambar blok yang dapat diartikan sebagai berikut (gambar 1a).



Gambar 1a. Diagram Blok kombinasi relai tegangan lebih dan tegangan kurang berdasar konsep Rao.

Tegangan jaringan yang dideteksi naik turunnya dimasukkan ke transformator (a) untuk diturunkan, kemudian diubah menjadi tegangan searah oleh penyearah (b) dan dihaluskan oleh rangkaian filter (c). Dari sini sinyal dimasukkan ke detektor tingkat (d), masing-masing untuk jalur tegangan lebih dan jalur tegangan kurang. Detektor akan mendeteksi fluktuasi sinyal masukan dengan membandingkannya terhadap sinyal searah (dc) stabil +24 Volt yang dicatu dari luar sebagai pembanding. Apabila tegangan jaringan naik lebih tinggi dari tegangan pembanding, detektor tingkat tegangan lebih akan mengeluarkan sinyal yang selanjutnya diperkuat oleh penguat terintegrasi (e) untuk mengaktifkan kontakor tegangan lebih (f) sehingga membuka. Sebaliknya, jika tegangan jaringan turun melampaui ambang pengaturan terendahnya sehingga lebih rendah dari tegangan stabil, detektor tegangan kuranglah yang akan memberikan reaksi ke kontakor tegangan kurang (g sampai i).

Modifikasi dan Implementasi

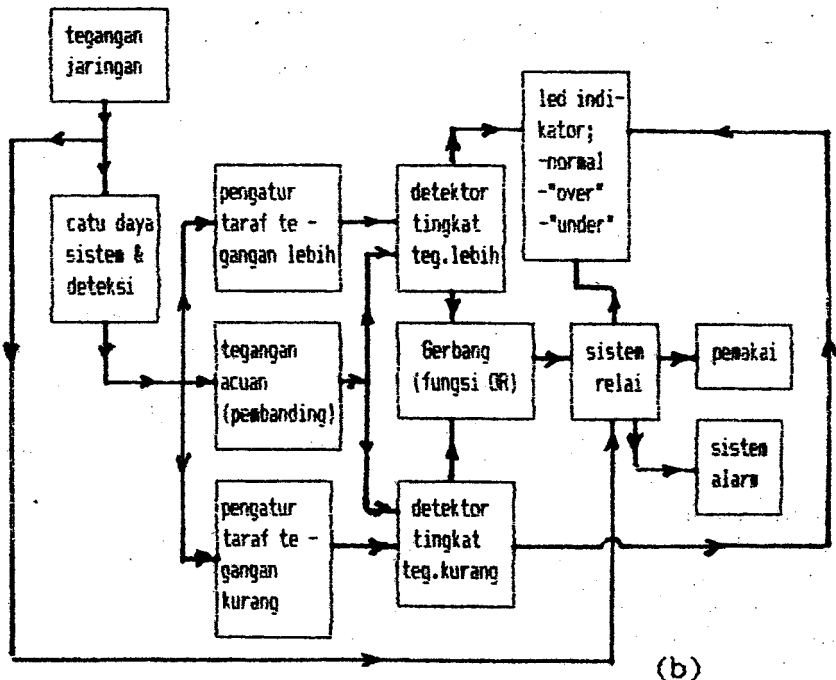
Dari konsep dasar relai elektronik yang dikemukakan oleh Rao tersebut, penulis mengembangkannya menjadi suatu rangkaian yang secara blok seperti terlihat pada gambar 1b berikut ini.

Dari gambar terlihat bahwa modifikasi mencakup:

1. Penggunaan hanya satu relai kontaktor saja sehingga lebih ekonomis dan sederhana dalam pengawatannya.
2. Penggunaan indikator "normal", "over" dan "under".
3. Penggunaan sistem alarm.
4. Penghilangan tegangan pembanding dari luar (external aux).

Cara Kerja Rangkaian:

Cara kerja rangkaian berdasar blok diagram pada gambar 1b adalah sebagai berikut:



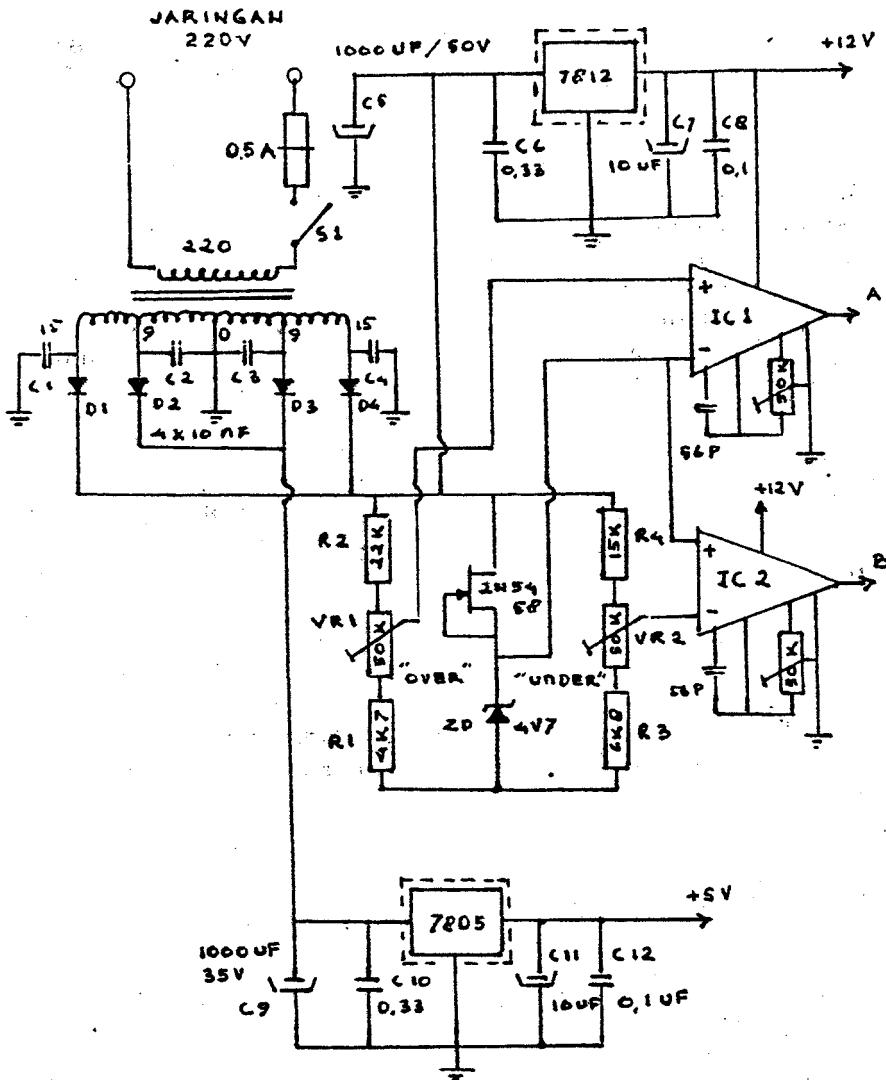
Gambar 1b. Diagram Blok kombinasi relai tegangan lebih dan tegangan kurang rancangan penulis sebagai modifikasi gambar 1a.

Tegangan jaringan yang akan dimonitor diberikan ke rangkaian sekaligus digunakan untuk mencatu rangkaian dengan cara diturunkan dan disearahkan oleh catu daya sistem dan diteksi. Selanjutnya tegangan diberikan ke regulator tegangan untuk pencatuan sistem, ke pengatur level tegangan lebih (*over*) dan pengatur level tegangan kurang (*under*) serta ke rangkaian penstabil tegangan yang digunakan sebagai tegangan pembandingan atau acuan. Tegangan pembandingan inilah yang menggantikan tegangan luar +24 Volt pada blok diagram Rao.

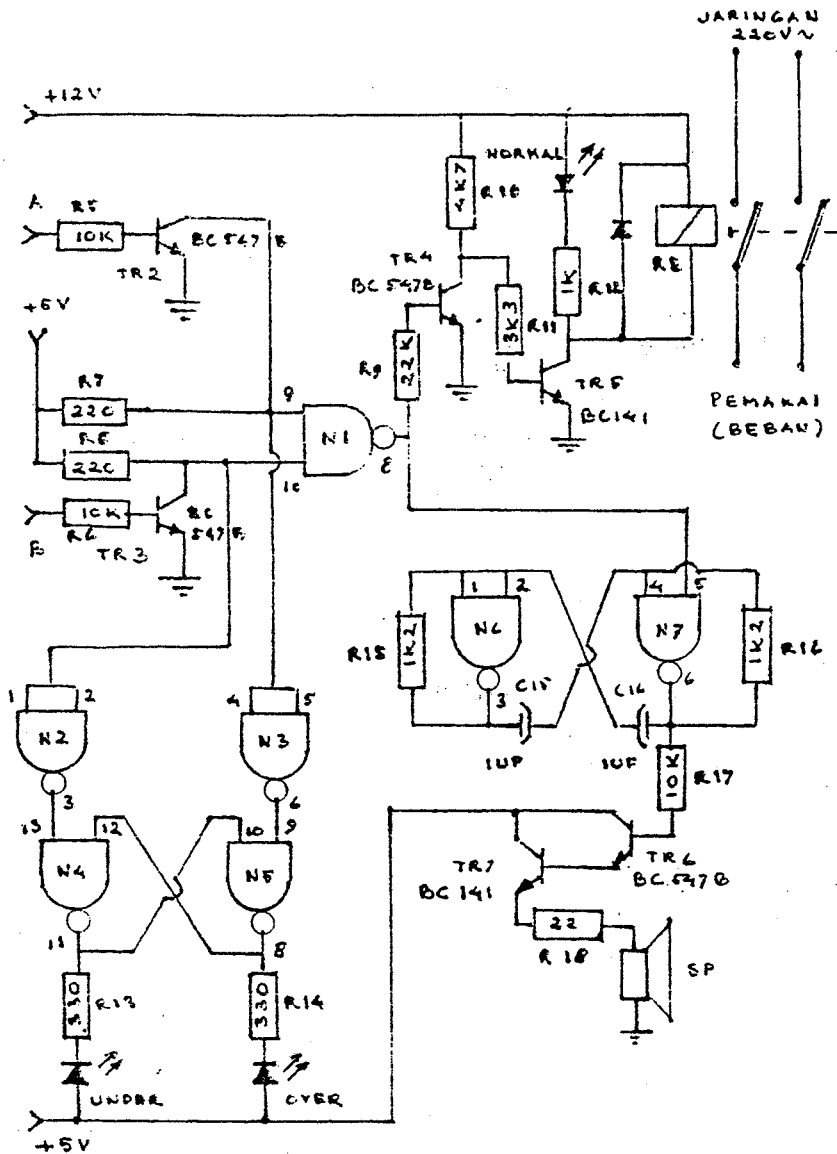
Seperti halnya pada blok diagram gambar 1a, disediakan dua buah detektor tingkat, masing-masing digunakan untuk menandingkan tegangan acuan dengan tegangan dari pengatur level tegangan lebih, serta tegangan acuan dengan tegangan dari pengatur level tegangan kurang. Jika tegangan jaringan naik melebihi harga nominal yang ditetapkan melalui pengatur level tegangan lebih, maka detektor tingkat tegangan lebih akan memberikan sinyal ke gerbang sehingga mematkan sistem relai, bersamaan dengan itu, alarm berbunyi dan led penunjuk tegangan lebih menyala. Sebaliknya, jika tegangan jaringan lebih rendah dari harga yang ditetapkan melalui pengatur level tegangan kurang, detektor tingkat tegangan kurangnya yang akan bekerja dengan mekanisme kerja, sama dengan jika terjadi tegangan lebih. Pada kondisi tegangan jaringan dalam batas-batas normal, maka sistem relai hidup (berarti relai menyambung) dan led penunjuk tegangan normal menyala.

Gambar Rangkaian Lengkap

Gambar rangkaian lengkap sebagai implementasi blok diagram gambar 1b adalah seperti terlihat pada gambar 2. Tegangan jaringan diturunkan menjadi dua macam yakni 15 Volt dan 9 Volt. Yang 15 Volt untuk pengatur level tegangan lebih dan tegangan kurang, tegangan acuan dan IC regulator 7812 yang mencatu penanding dan sistem relai. Tegangan 9 Volt untuk IC 7805 yang mencatu led penunjuk tegangan lebih dan tegangan kurang/gerbang-gerbang logika dan sistem alarm. Sebagai tegangan acuan digunakan zener diode 4,7 Volt yang mendapat sumber arus konstan dari JFET 5458. Sistem rangkaian model ini memang lebih mahal dibanding jika menggunakan resistor seri. Namun, penggunaan JFET



Gambar 2. Rangkaian lengkap relai elektronik tegangan lebih dan tegangan kurang (bersambung).



Gambar 2. Rangkaian lengkap relai elektronik tegangan lebih dan tegangan kurang (sambungan).

sebagai sumber arus konstan untuk diode zener adalah memiliki kelebihan pada kestabilan tegangan konstan yang dihasilkannya (Hogen boom, 1988:35). Pengatur level tegangan lebih dan tegangan kurang masing-masing menggunakan resistor variabel (VR), VR1 untuk mengatur level tegangan lebih dan VR2 untuk mengatur level tegangan kurang. Detektor tingkat menggunakan IC op-amp CA 3140 yang dilengkapi dengan pengatur kompensasi. IC1 sebagai penanding tegangan lebih dan IC2 sebagai penanding tegangan kurang. Jika tegangan jaringan naik sampai menyebabkan kaki tengah VR1 bertegeangan lebih tinggi dari tegangan acuan pada zener (4,7 Volt), maka tegangan pada terminal non inverteng (+) pada IC1 yang berfungsi sebagai detektor tingkat tegangan lebih akan lebih tinggi dari tegangan pada terminal invertengnya (-). Akibatnya, keluarannya akan berada pada tegangan jenuh positifnya (sekitar 10,5 Volt). Sebaliknya, jika tegangan jaringan normal atau turun, tegangan pada terminal non invertengnya akan lebih rendah dari tegangan pada terminal invertengnya sehingga detektor tingkat tegangan lebih tidak akan bereaksi (keluarannya berada pada tegangan jenuh negatifnya, yakni mendekati 0 Volt karena menggunakan catu tunggal).

Apabila terjadi penurunan tegangan jaringan, maka tegangan pada kaki tengah pengatur tegangan kurang (VR2) akan turun. Jika penurunan tegangan jaringan sampai menyebabkan tegangan pada kaki tengah VR2 ini lebih rendah dari tegangan acuan, maka tegangan terminal yang inverteng pada IC2 akan lebih rendah dari tegangan terminal non invertengnya. Akibatnya IC2 yang berfungsi sebagai detektor tegangan kurang akan bereaksi, menuju ke jenuh positifnya. Jika tegangan jaringan dalam kondisi normal atau lebih tinggi, keluaran IC2 ini akan berada pada jenuh negatifnya (mendekati 0 Volt) karena tegangan pada terminal invertengnya yang dihubung ke kaki tengah VR2 lebih tinggi dari tegangan acuan pada terminal non invertengnya. Transistor pada keluaran masing-masing detektor mempunyai dua fungsi, yakni sebagai penyesuai tegangan keluaran detektor dengan masukan digital untuk mengemudikan gerbang fungsi OR dari jenis TTL, yang keduanya sebagai pembalik (inverter) mengingat fungsi OR dilaksanakan oleh gerbang NAND. Keluaran fungsi OR akan berada pada taraf tinggi jika salah satu atau

semua masukannya bertaraf tinggi. Pada fungsi OR yang dilaksanakan oleh gerbang NAND, kondisi masukan yang mensyaratkan keluaran bertaraf tinggi adalah kebalikannya, yakni jika salah satu atau semua masukannya bertaraf rendah, keluaran akan bertaraf tinggi. Penggunaan gerbang NAND di sini dimaksudkan sebagai penghematan komponen, mengingat pengemudi indikator led maupun alarm menggunakan gerbang NAND. Demikian sehingga jika terjadi tegangan kurang atau tegangan lebih pada jaringan, maka penanding yang bersangkutan akan berada pada tegangan jenuh positifnya (taraf tinggi) sehingga menyebabkan transistor pada keluaran didorong menuju kondisi jenuhnya (tegangan kolektor mendekati 0 Volt). Keluaran gerbang N1 akan berada pada taraf tinggi, yang menyebabkan transistor TR4 menjadi jenuh. Jenuhnya TR4 ini mengakibatkan titik pertemuan R10 dengan R11 jatuh ke 0 Volt sehingga basis TR5 tidak mendapat tegangan panjar. Akibatnya TR5 akan mati dan relai tidak mendapat tegangan sehingga kontakannya akan terlepas. Matinya TR5 ini juga menyebabkan Led penunjuk "normal" padam. Pada saat kondisi tegangan jaringan pada batas normal, karena keluaran kedua detektor berada pada taraf rendah, maka TR2 maupun TR3 akan mati sehingga kedua masukan ke gerbang N1 praktis terhubung ke catu +5 Volt masing-masing melalui R7 dan R8 (berada pada taraf tinggi). Akibatnya keluaran gerbang N1 akan rendah sehingga membuat TR4 mati. Matinya TR4 membuat basis TR5 mendapat tegangan panjar maju dari +12 Volt melalui R10 dan R11 sehingga TR5 ini jenuh. Maka relai akan mendapat tegangan sehingga kontak-kontaknya menyambung dan led penunjuk "normal" juga menyala.

Indikator "Over" dan "Under"

Indikator *over* dan *under* menggunakan flip-flop yang dibentuk oleh gerbang N4 dan N5. Flip-flop ini dikemudikan oleh gerbang N2 dan N3. Kedua gerbang ini berfungsi sebagai inverter. Pada kondisi normal, seperti halnya dengan gerbang N1, keduanya akan mendapat masukan taraf tinggi (logika 1) sehingga keluarannya akan bertaraf rendah (logika 0). Logika 0 pada kedua masukan flip-flop akan menyebabkan kedua keluarannya bertaraf tinggi. Karena anode kedua led dihubung

ke +5 Volt, taraf tinggi pada keluaran flip-flop menyebabkan led tidak mendapat panjar maju sehingga tidak menyala. Jika dimisalkan terjadi tegangan lebih pada jaringan sehingga TR2 menjadi jenuh, maka masukan gerbang N3 akan bertaraf rendah dan keluarannya menjadi bertaraf tinggi. Karena keluaran gerbang N4 yang bertaraf tinggi (kaki 11) juga diberikan ke masukan gerbang N5 (kaki 10), maka sekarang kedua masukan gerbang N5 (kaki 10 dan 9) bertaraf tinggi semua, yang menyebabkan keluarannya (kaki 8) bertaraf rendah. Akibatnya led penunjuk over mendapat panjar maju dan menyala. Sementara itu, led penunjuk *under* tetap padam karena selain gerbang N4 mendapat masukan taraf rendah dari gerbang N2 (kaki 13) ia juga mendapat masukan taraf rendah dari keluaran gerbang N5 (kaki 12). Dengan mekanisme kerja yang identik untuk gerbang pasangannya, jika tegangan jaringan turun kurang dari taraf yang telah ditentukan, maka giliran led *under*-lah yang menyala. R13 dan R14 masing-masing untuk membatasi arus Led serta melindungi gerbangnya dari arus yang berlebihan.

Sistem Alarm

Sistem alarm menggunakan rangkaian multivibrator tak mantap yang dibentuk oleh gerbang N6 dan N7. Kerja multivibrator ini dikemudikan melalui terminal masukan pin 5 pada gerbang N7 yang dihubungkan dengan keluaran gerbang N1. Selama terminal masukan ini berada pada taraf rendah (terjadi saat tegangan jaringan dalam batas-batas normal), keluaran gerbang N7 akan terkunci pada taraf tinggi sehingga multivibrator tidak bekerja. Jika terjadi tegangan lebih atau tegangan kurang pada jaringan mekanisme yang menyebabkan salah satu masukan gerbang N1 bertaraf rendah menyebabkan keluarannya bertaraf tinggi. Dengan demikian, hidupnya transistor Tr4 yang membuat Tr5 mati dan relai tak ditenagai akan bersamaan dengan kerja alarm karena pada saat ini masukan pin 5 pada gerbang N7 bertaraf tinggi. Transistor Tr6 dan Tr7 berfungsi untuk menguatkan arus keluaran multivibrator sehingga dapat diumpankan ke speaker.

Penyetelan Awal

Penyetelan untuk menetapkan batas-batas tegangan jaringan terendah dan tertinggi pada harga yang diinginkan paling mudah dilakukan dengan variac (sumber sinyal arus bolak-balik yang dapat diatur). Rangkaian tinggal dihubungkan ke variac yang mendapat tegangan sumber dari jaringan. Tegangan keluaran variac diukur dan diatur pada 220 Volt ac. VR1 (pengatur kepekaan tegangan lebih) diputar berlawanan jarum jam sampai penuh (ke kiri). Juga VR2 (pengatur kepekaan tegangan kurang) diputar searah jarum jam sampai penuh (ke kanan). Pemutaran dilakukan dari arah IC penguat operasi. Dalam kondisi ini led penunjuk "normal" harus menyala, dan kontak-kontak relai menyambung. Selanjutnya, tegangan keluaran variac dinaikkan sampai pada harga tegangan sesuai dengan keinginan, yakni pada tegangan jaringan tertinggi berapa nantinya alat mulai bekerja memutuskan tegangan. Misalnya saja pada tegangan 250 Volt. Setelah tegangan ini tercapai, VR1 diputar perlahan-lahan searah jarum jam. Pengaturan berhenti sampai led penunjuk "normal" padam, led penunjuk "over" menyala dan alarm berbunyi. Sekarang giliran untuk pengaturan tegangan rendahnya. Tegangan variac diturunkan sampai di bawah harga normalnya, yakni pada suatu harga yang diinginkan saat rangkaian mulai bekerja memutuskan tegangan jaringan. Misalnya saja pada tegangan 180 Volt. Setelah tegangan ini tercapai, VR2 diputar perlahan-lahan berlawanan jarum jam. Pengaturan berhenti sampai led penunjuk "under" menyala dan alarm berbunyi. Jika dari hasil pengaturan yang disebutkan di atas rangkaian tidak bereaksi, tentu ada kesalahan yang berupa kerusakan komponen, kesalahan hubungan atau hasil penyolderan yang tidak baik.

Dalam hal variac tidak tersedia, pengaturan dapat dilakukan dengan bantuan sebuah trafo daya yang berfungsi sebagai auto-transformer. Batas tegangan tertinggi dan terendahnya tergantung dari tegangan terminal sekunder. Misalnya, diinginkan untuk menetapkan sistem proteksi bekerja pada tegangan $220 \text{ Volt} \pm 30 \text{ Volt}$, berarti rangkaian akan bekerja memutuskan tegangan pada harga 190 Volt dan 250 Volt. Untuk itu dibutuhkan trafo yang mempunyai tegangan terminal sekunder 30 Volt.

Hasil Uji Coba

Hasil uji coba prototipe rangkaian di laboratorium dasar-dasar listrik menunjukkan kinerja yang memuaskan. Alat bekerja sesuai dengan rancangan, yakni memutus tegangan jaringan ke pemakai secara otomatis pada tegangan 140 Volt untuk proteksi tegangan kurangnya dan 260 Volt untuk proteksi tegangan lebihnya. Saat tegangan jaringan dinaikkan menjadi 380 Volt rangkaian masih bekerja, dalam arti jaringan ke pemakai tetap terputus, alarm berbunyi dan indikator tegangan lebih menyala. Saat tegangan jaringan dinaikkan sampai dua kali lipat dari tegangan normalnya, yakni menjadi 440 Volt, sekering pengaman bekerja memutus jaringan ke rangkaian pelindung sehingga otomatis alat tidak berfungsi. Tidak berfungsinya alat berarti pula hubungan beban ke jaringan juga terputus, akibatnya baik rangkaian pelindung maupun beban yang dilindungi terhindar dari kerusakan.

Penutup

Mengingat sistem relai ini berfungsi sebagai pelindung, maka harus dapat diandalkan kerjanya. Untuk itu IC regulator harus diberi logam pendingin yang memadai agar pelindung thermal internalnya tidak bekerja jika tegangan jaringan cenderung sering berada di atas harga normalnya. Trafo daya yang digunakan sebaiknya dipilih yang dua ampere atau lebih walaupun arus yang dibutuhkan rangkaian tidak begitu besar. Karena sulitnya mendapatkan trafo yang berkualitas baik di pasaran, maka pemilihan trafo dengan arus yang lebih besar sangat dianjurkan untuk menjaga ketahanan alat terhadap tegangan jaringan yang sering naik. Pengaturan keras lemahnya alarm dilakukan dengan mengubah harga R18.

Sistem relai ini juga dapat digabung dengan sistem stabilisator tegangan jaringan yang banyak dijumpai di pasaran untuk mencegah kemungkinan kegagalan stabilisator dengan cara menyisipkan relai di antara stabilisator dan pemakainya. Tegangan jaringan akan tetap distabilkan oleh stabilisator, jika sistem pengatur tegangan otomatis pada stabilisator gagal bekerja sehingga gejolak tegangan jaringan tidak dapat dikendalikan, maka relai elektronik akan memu-

tus tegangan jaringan ke pemakai pada tegangan kerjanya. Untuk itu, relai harus diatur supaya bekerja pada batas bawah dan batas atas tegangan kerja pemakai. Dengan sistem kerja gabungan ini, keamanan pemakai lebih terjamin.

Daftar Pustaka

- Hogenboom P. 1988. *Data Sheet Book 3: Catatan Aplikasi*. Jakarta: Elex Media Komputindo. Judul asli: "Data Sheet Book 3: Application Notes".
- Rao, Madava TS. 1989. *Power System Protection: Static Relays With Microprocessor Applications*. New Delhi: Tata McGraw-Hill Publishing Company Ltd.
- Stout, David F. Milton Kaufman. 1976. *Handbook of Operational Amplifier Circuit Design*. New York: McGraw-Hill Book Company.

