

The Construction and Operation of Some Examples of Merging Unit

Authors

Kamil Gontarz
 Ryszard Kowalik
 Désiré D. Rasolomampionona
 Marcin Januszewski

Keywords

IED, IEC 61850, protection automation devices

Abstract

The paper describes schemes of modern digital protection automation devices using Ethernet technology as the main medium of exchange of information, which allows building a communication architecture for a power system, using all aspects of the IEC 61850 standard.

DOI: 10.12736/issn.2300-3022.2014104

1. Introduction

In recent years there has been a change in the technologies used to develop power system protection and control systems. Analogue solutions are gradually replaced by microprocessor systems of incomparably greater functional capabilities. Equally big has been the leap in the area of communication with automation devices, which has enabled development of systems of local and remote supervision of devices and power substations controlled by them. More and more devices in automatic control systems are now equipped with communication ports to exchange data transfer rate of 10 or 100 Mb/s, which allows transferring more and more extended data structures, using complex communication protocols, within a dozen or so milliseconds. Data to be exchanged is usually provided with time tags, the precision of which, due to the use of GPS, may reach a fraction of a microsecond. Analyses of the recent development of power system automatic control schemes and devices show that the new opportunities emerging in the field of power automation systems closely depend on functional properties of the automation devices and communication systems therein applied.

In such a situation the power industry is on the threshold of changes associated with simplification of substation wiring, unification of access to data available in microprocessor devices, and development of new automation systems based on new engineering solutions using these technologies (Ethernet/ Intranet, GPS and advanced communication protocols). To meet these requirements the International Electrotechnical Commission developed the IEC 61850 standard. The standard is in a sense a concept that describes how to design and build power systems. It defines power system as a model consisting of object models of devices interconnected into a network. The IEC 61850 standard requires high bandwidth and low-latency transmission.

Typical serial interfaces such as RS232/422/485, previously used in power systems, do not meet the IEC 61850 requirements. It was not until the introduction of Ethernet technology to power engineering facilities that a communication platform might have been developed to utilise aspects of the IEC 61850 standard. The observed change in technology means that currently used substation automation devices in the future will no longer be attractive for the power industry as unsuitable for new systems. This will create the need to buy new devices, which, in terms of applied standards, communication protocols, and measurement and synchronization systems, will be much more complex than the existing ones. For this reason, the Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology has developed modern devices that meet the industry's new requirements. The devices described in this paper have been engineered in the course of implementing the research project "Intranet-enabled power system automation devices of new generation", commissioned by the Ministry of Science and Higher Education in the framework of MNiSW 0492/R/T02/2007/03 programme. They are constantly developed and improved.

2. BICONIC device design

The design of the first version of the IED device, tentatively coded BICONIC, is based on an industrial ARM9 computer. ARM9 microcontrollers can be used in this type of equipment because they have adequate immunity to electromagnetic interference and computing power, Ethernet connectivity, and do not deal with signals (voltages and currents) from secondary circuits. The device is provided with binary inputs and outputs interoperable with existing conventional devices, so it can therefore be used without intervention in the configuration of a substation's primary circuits. The IED BICONIC controller has been designed based on

an embedded computer that is a miniserver with digital inputs and outputs and communication interfaces enabling control, monitoring, and remote supervision of power facilities. The embedded computer concept allowed for the development of a multi-function controller with all necessary interfaces (Ethernet in particular), and with digital object inputs and outputs, through which the device controls supervised facilities. The BICONIC controller was developed using a modular design consisting of a CPU, binary output and binary input module. A block diagram of a BICONIC controller is shown in Fig. 1.

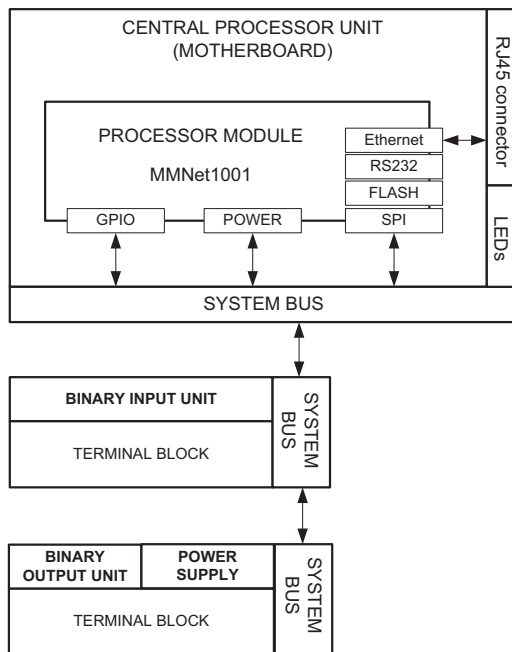


Fig. 1. Block diagram of the BICONIC device

The CPU consists of a processor card and motherboard. The processor card is an off the shelf Propox solution. The motherboard has been designed at the Institute of Electrical Power Engineering in order to fit the module to the BICONIC design. The embedded computer is a universal module designed to run on a Linux or Windows CE class operating system. It is equipped with a high-speed ARM9 processor (210 or 400 MHz), 64 MB RAM, 1 GB Flash, 100 Mbit Ethernet and other communication interfaces. CPU ports are connected to two pin connectors. Owing to the use of circuits in BGA packages, and a multi-layer printed circuit, the module is small, which makes it perfect for the BICONIC device's compact design.

The embedded computer is based on a 32-bit ARM926 processor designed in RISC architecture. It is characterized by large computational power at relatively low power consumption. This allows installing operating systems with implemented multi-threading mechanisms, TCP/IP stack, or own file system. Today there are many operating systems compatible with ARM processors. These include Windows CE, FreeBSD, as well as Linux distributions with additional name "embedded" (e.g. Embedded Debian). Unlike x86 CPU-based systems designed in CISC architecture, the

modern ARM9 system makes the processor module an efficient and energy-saving platform that doesn't dissipate too much heat. The computer is provided with 1 GB NAND Flash and 64 MB SDRAM, which is sufficient for the proper operation of the Linux operating system along with the IEC 61850 server by Tama Rack (now Triangle MicroWorks, Inc.). In order to adjust the computer to the device's standard, a motherboard has been developed. Its task is to adjust the computer's signals and connectors to BICONIC device's standardized data bus and to adjust the PCB board shape of the device's casing. The motherboard's other tasks are to collect the device's operating parameters (temperature, voltages), and to output the LED indicators lights and the Ethernet connector to the device's front panel. Fig. 2 shows a view of the embedded computer's motherboard. The system can be accessed through SSH client or Ethernet interface, and – for maintenance – through RS232/422/485 ports.

The binary input module has been designed to receive binary signals, which provide information on positions of circuit breaker and disconnectors, as well as information on other protection devices' responses. All digital signals are fed to the connector module's input terminals. The 220 V DC signal fed to a binary

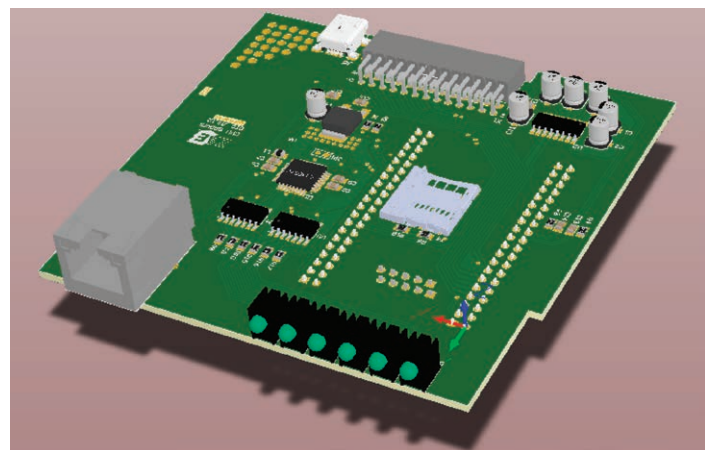


Fig. 2. Motherboard of BICONIC device's CPU

input sets a logical value 1 on the card, and then sends it to the CPU. In the absence of voltage at a binary input terminal, a logic state 0 is set. The card has been provided with eight digital inputs with galvanic separation at 5 kV. In addition, systems have been applied to prevent feeding a surge pulse, which would damage the protection device's input electronics.

Fig. 3 shows a block diagram of the binary input module.

Fig. 4 shows a schematic diagram of the binary input circuit on the primary side. The system consists of a voltage divider made up of R1, R7 and R8 resistors. Their resistances have been so selected that the optocoupler diode's forced current does not exceed the limit at 220 V dc input. Capacitors C1 and C2 provide overvoltage protection, and varistor V1 eliminates the optocoupler diode voltage's increase from overvoltage. Capacitors C17 and C18 have been used to eliminate short voltage pulses. In addition,

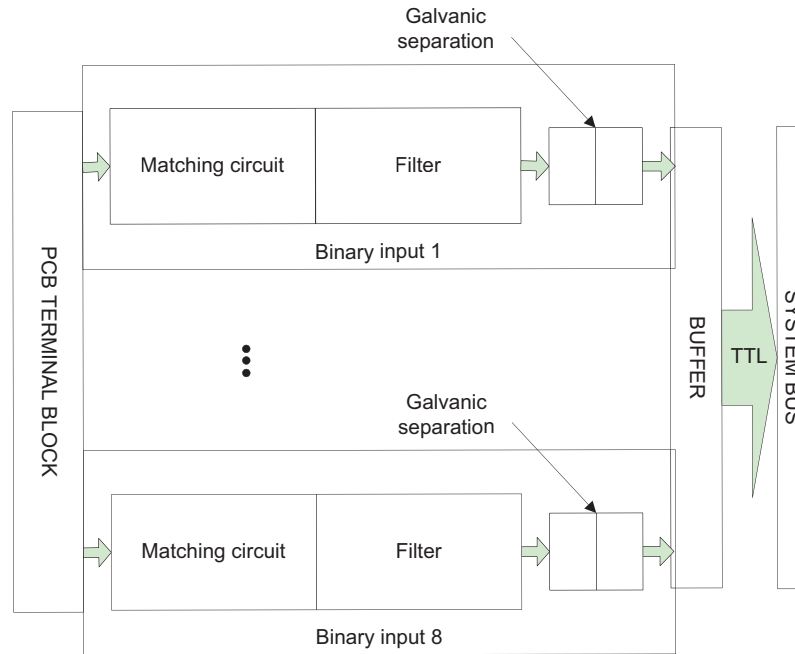


Fig. 3. Block diagram of BICONIC binary input module

the system has been protected by diode D1 against feeding the binary input with voltage of opposite polarity, which could break down the optocoupler diode and damage it. The element responsible for the digital input card's galvanic separation is the optocoupler. This element is composed of a photoemitter (LED) and a photodetector (phototransistor) mounted in the same housing. Owing to optical coupling between these components the optocoupler transmits electrical signals that ensure galvanic separation up to 5 kV.

The optocoupler's phototransistor operates in the system of an amplifier with shared emitter. In the absence of voltage at the digital input terminals, the potential at the phototransistor collector (the optocoupler's fifth leg) is 5 V. If 240 V is applied to the input, the photo transistor becomes conductive and the collector potential drops to 0V. In summary, the optocoupler inverts the input signal phase sending logical zero to the buffer in the presence of voltage at the card input, whereas absence of voltage sets one of the buffer inputs to logical zero.

The binary output card feeds digital signals from the protection device to the controlled object, such as circuit breaker. The card has been provided with seven outputs built on solid state relays, i.e. MOSFET power transistors. The solid state relays have increased the switching rate from 40 ms to ca. 1 ms. Solid state relays are more resistant to the aging caused by multiple switching, and also are capable of switching higher currents. Switching high currents off by conventional relays gives rise to an arc across the relay contacts, which damages them. All inputs are galvanically isolated, so the protection device is resistant to various kinds of interference within the substation. Due to the device's compact design, the binary input card has an integrated DC/DC converter to ensure the controller's safe power supply.

Fig. 5 shows a block diagram of the binary output unit. The binary output unit on the card has been built using solid-state relays. The actuator is a MOSFET power transistor. As the control unit a special controller has been used, which requires no additional power supply for controlling the transistor. In typical solutions,

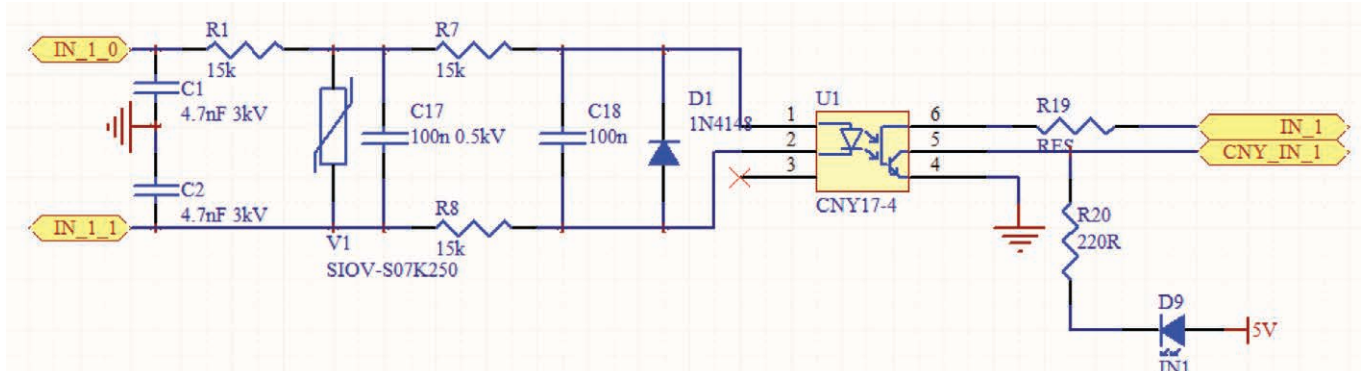


Fig. 4. Schematic diagram of the binary input

the circuit's primary side was supplied by a DC-DC converter with a suitable galvanic isolation. This required additional components, such as resistors that enforced adequate current for the transistor gate. These components have been replaced with one which uses the photovoltaic effect to drive the power transistor. An optocoupler is made up of an LED that emits infrared light, coupled by an optical fibre with a series of photodetectors, which, thanks to the photovoltaic effect, are fit to control MOSFET transistors.

Upon an occurrence of the low state at OUT_ON1 (Fig. 6) resistor R17 forces a current flow through the optocoupler diode. At the photodetector anode appears 10 V potential with respect to the cathode, which transfers the transistor to the low impedance state. A schematic diagram showing the binary output circuit is presented in Fig. 6.

The BICONIC device is accommodated (Fig. 7) in a case adapted to its modular design. Three controller modules can be mounted in the case. The main module is the motherboard with the embedded computer, placed in the middle of the case. The case's other two slots are used for additional cards, such as binary inputs and outputs, and analogue inputs.

3. BICON device design

As part of the project a more extended controller has also been developed, tentatively coded BICON. It features a higher CPU rate, different type of insulation elements in the voltage and current inputs, and enlarged casing with higher mechanical strength.

The device in this version consists of the following modules:

- CPU module, either Advantech with an integrated binary input/output, and analogue input module
- binary input/output, and analogue input module by Diamond
- analogue input module with galvanic isolation, with LEM transducers
- binary input module with galvanic isolation
- binary output module with galvanic isolation, with relays and MOSFET transistors
- binary output module with galvanic isolation, with MOSFET transistors.

This device's block diagram is shown in Fig. 8. BICON device may be equipped with different processor systems with

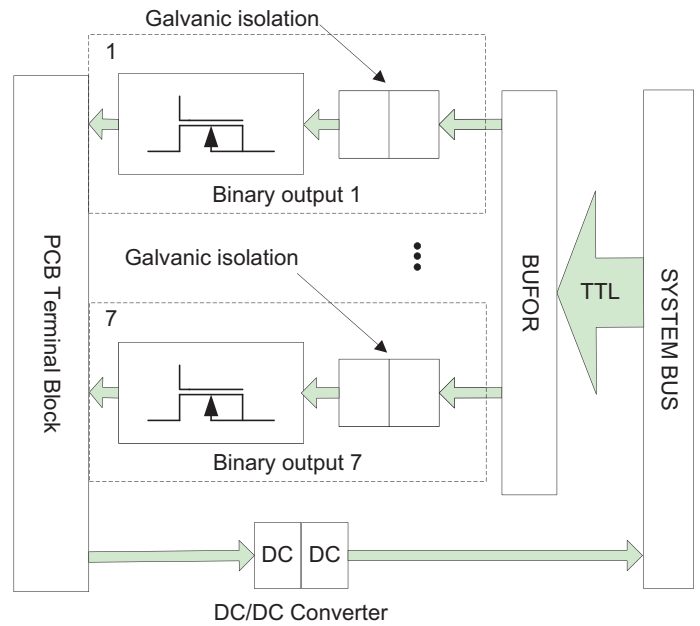


Fig. 5. Block diagram of BICONIC binary output module

a running operating system. To build the operable prototypes, an Advantech microcomputer module and a Diamond module were used.

The Advantech module is a single-board PC/104 computer with large-scale integration. It is equipped with an Intel® Celeron® 400 MHz ULV processor, and 1 GB Flash memory, in which Windows XP Embedded operating system is installed. The module's RAM has 512 MB capacity. The module allows connecting additional PC-104 modules. A block diagram of the processor board is shown in Fig. 9.

BICON's CPU (processor) module (CPU) interoperates with the digital and analogue I/O module via a PC-104 bus. This is a system with 32 analogue channels. Its converter has 16 bit resolution and allows the maximum sampling rate of 250 kHz. In addition, the system has 4 analogue outputs with 16 or 12 bit resolution, a 32-bit counter, 31 binary inputs/outputs, and a 16-bit general purpose counter. The digital and analogue

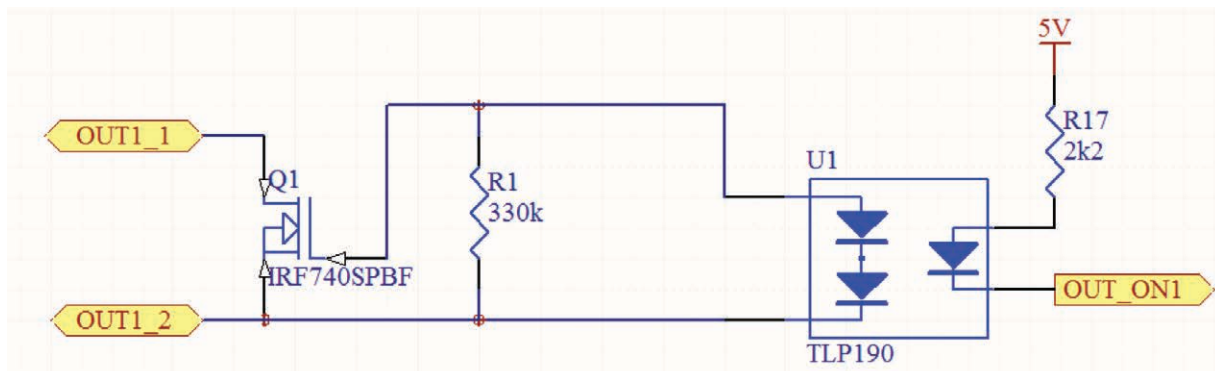


Fig. 6. Diagram of the solid state relay-based output circuit

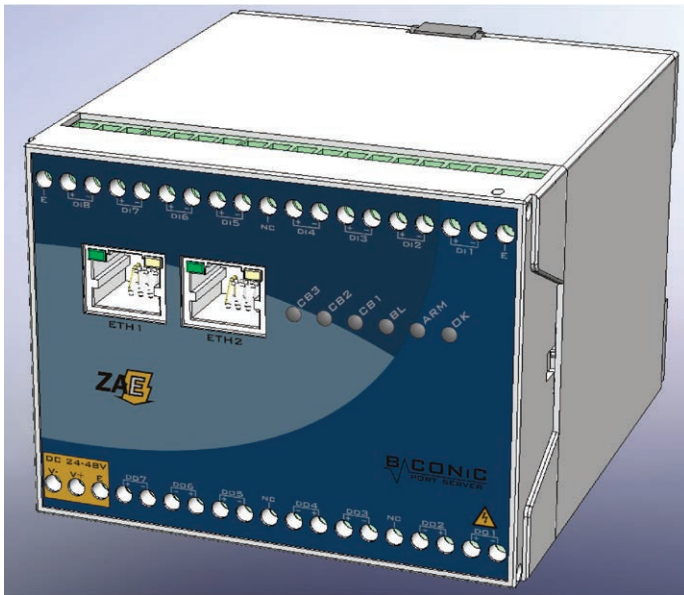


Fig. 7. BICONIC casing

I/O module operation is depicted in the a schematic diagram of Fig. 10. Analogue signals are input through a switch to an A/D converter, which performs the processing. The data in digital form is forwarded to a FPGA controller. The controller also manages the operation of the binary inputs/outputs, and the D/A converter. It acts as an intermediary between external signals and the PC/104 bus.

The other solution is based on a Diamond CPU. This unit is a single-board PC/104 computer of high integration scale, with analogue and digital signal acquisition circuits. By ensuring a low power consumption at high performance, the module allows reducing the size and cost of devices developed and

improves their performance at the same time. The module employs a Vortex86SX/DX processor with a clock speed of 300 MHz or 800 MHz, and 128 MB or 256 MB of DRAM. The CPU module contains many functional blocks. Its block diagram is shown in Fig. 11.

The Diamond CPU includes an integrated block of A/D and D/A converter, also with digital I/O ports. Fig. 12 shows the circuit's block diagram. It consists of a 16-bit A/D converter interoperable with a 16-input analogue multiplexer and an amplifier with programmable gain. The converter unit contains a FIFO buffer that allows storing 2048 16-bit samples, and a controller that allows performing auto-calibration.

The converter unit also includes a D/A converter and a unit of 24 digital I/Os, programme-wise compatible with the popular 82C55 interface. The entire unit is controlled by the FAGAN circuit. From the software perspective the module's peripherals are a set of registers situated in 16 consecutive addresses of the processor's address space.

Due to the need to implement the IEC 61850 protocol and to ensure rapid data exchange between the developed devices and other automation devices over Ethernet while maintaining the transmission's high resistance to electromagnetic interference, it was decided to employ an appropriate converter in the design. This converter converts the Ethernet standard from 100BaseTX to 100BaseFL.

As the device's converter a Fibrain module has been used, which allows operating the device in large fibre optic Ethernet networks. The converter ensures proper data transfer over up to 2 km distance. The device uses 1310 nm wavelength and is fully compatible with IEEE 802.3u standard. The built-in ASIC switch enables its operation as a 2-port switch, or a traditional converter. In addition, its operating status may be monitored via signalling LEDs on the front panel.

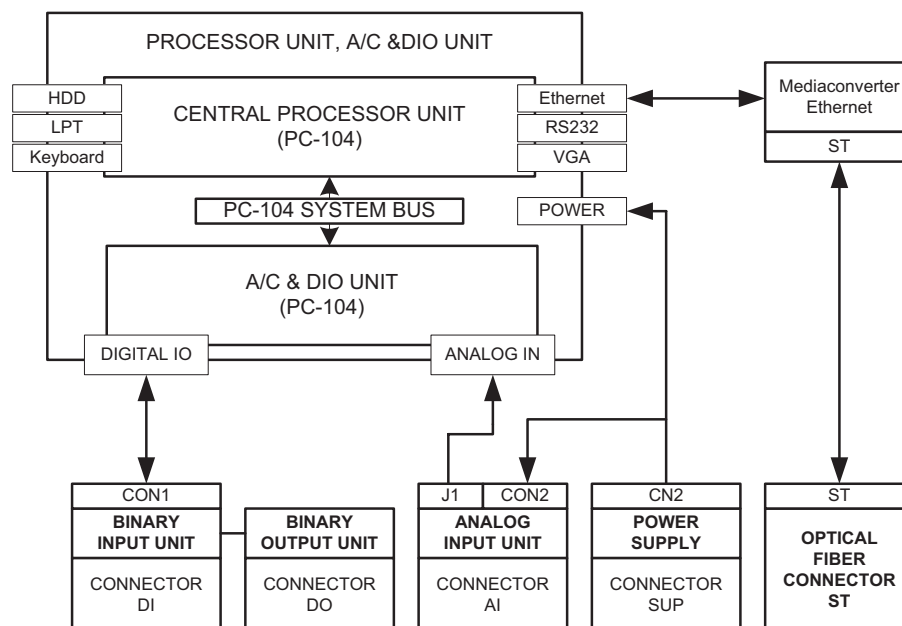


Fig. 8. Block diagram of BICON device

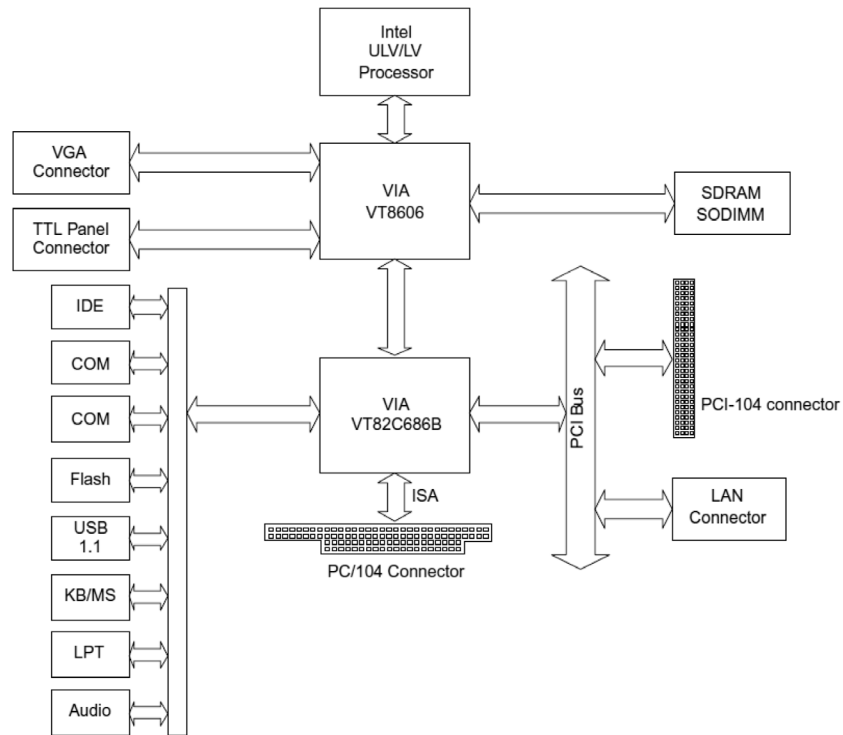


Fig. 9. Block diagram of the DIAMOND processor board [3]

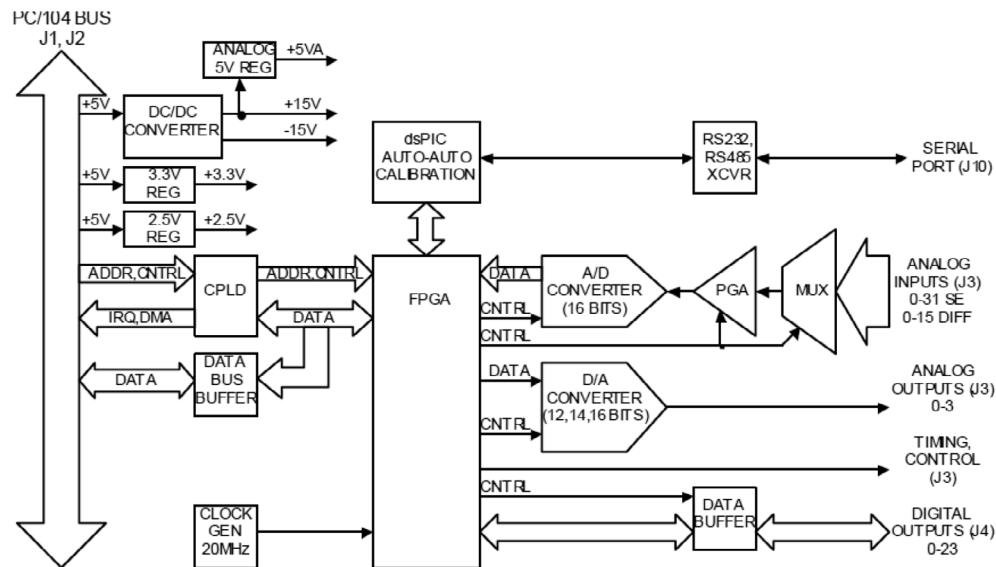


Fig. 10. Operating block diagram of the DIAMOND digital and analogue I/O module [3]

The BICON device is provided with an analogue input card for measuring voltage and current signals. Measurement signals from voltage and current transformers' secondary terminals are fed to the module. The card is provided with four voltage and current inputs, suitable for measuring 50Hz frequency signals. The card's purpose is galvanic isolation of voltage and current transformers' secondary circuits from the relay measuring element's electronics. Moreover, the signal is set off from interferences by a suppression unit and adjusted to a common level suitable for further processing. It is then filtered by a low pass filter to eliminate components with frequencies higher than half the A/D

converter sampling frequency, which during the signal's discretisation could lead to irreparable errors. The analogue signal is then transmitted to the central unit via a 20-pin connector, where the sampling process is performed. In addition, the card is provided with a temperature measuring sensor that enables monitoring the temperature inside the protection device. A block diagram of the analogue input card is shown in Fig. 13.

The analogue input module is provided with four measurement circuits for three phase voltages and residual voltage. Fig. 14 shows a schematic diagram of one of the four analogue

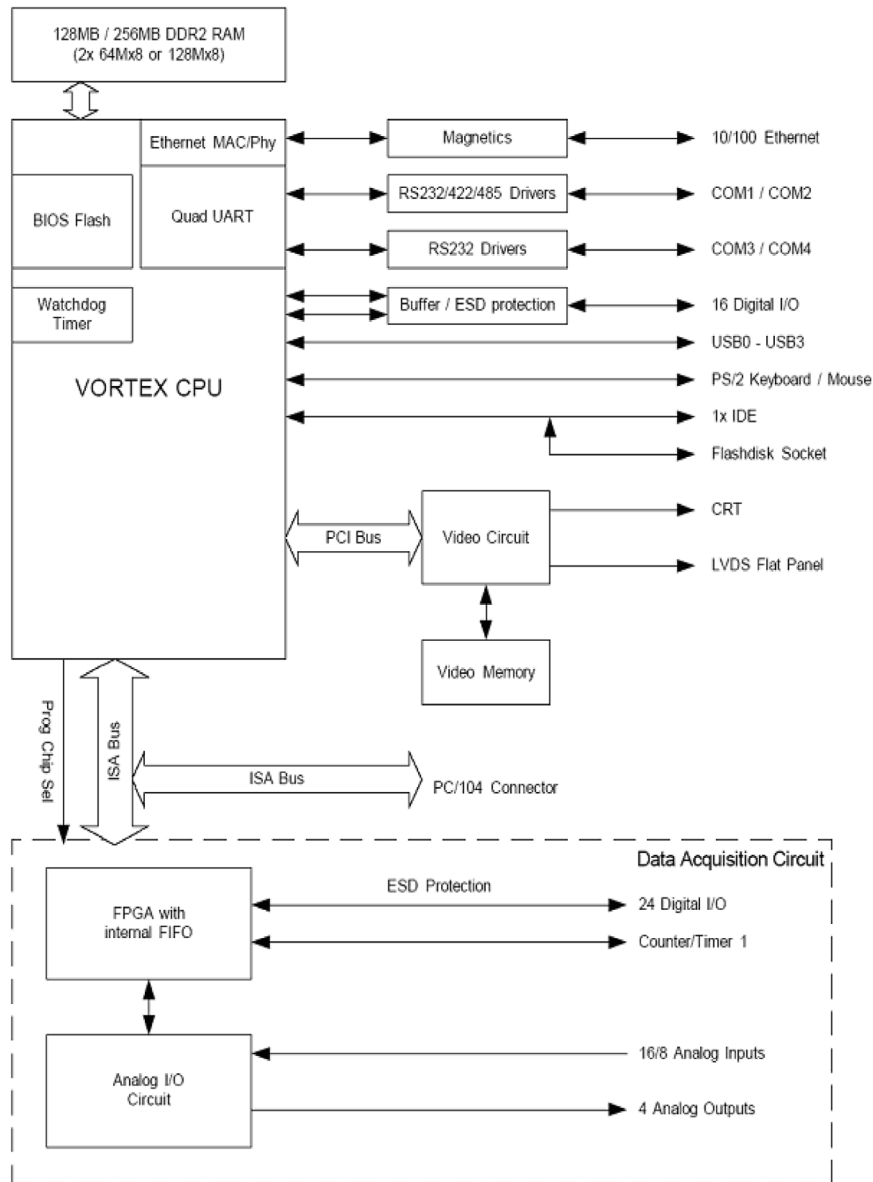


Fig. 11. Block diagram of the DIAMOND processor module [3]

voltage inputs. The key element of this scheme is an LEM linear transducer using the Hall effect. It provides galvanic isolation between the primary side and the protection relay's electronic circuitry, up to 2.5 kV. In the transducer the input signals are fed to inputs 1 and 2. It makes the current output from the third pin proportional to the input current. The transducer's nominal input current is 10 mA, and its measurement range is 0 ± 14 mA. To enable voltage measurement, resistances R87 and R88 had to be applied to force the current flow proportional to the voltage measured by the separator input. The resistors of aggregated value 10 kW force 10 mA current at 100 V voltage. In order to reduce the measurement error resistors with a tolerance of 1% or less should be used. The separator's conversion rate is 2500:1000. This produces output current 25 mA at the nominal current on the transducer's primary side. Then the voltage drop across shunt resistor R69 is measured. The separator's secondary side is powered at ± 12 V. In addition, in the voltage circuit an interference suppression unit consisting of capacitors

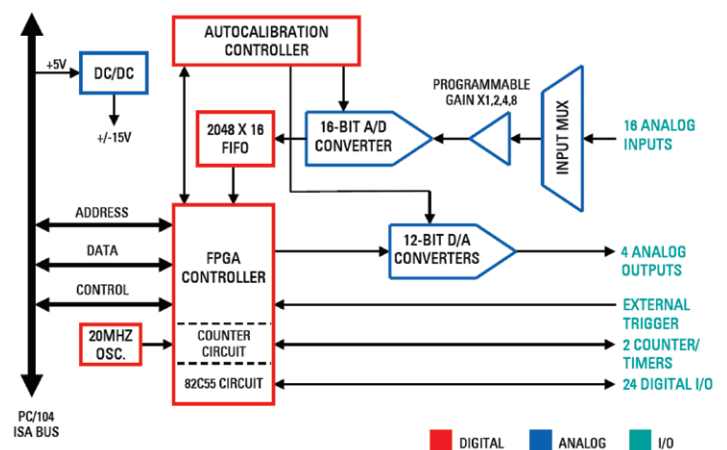


Fig. 12. Block diagram of the A/D and D/A converter and digital I/O module [3]

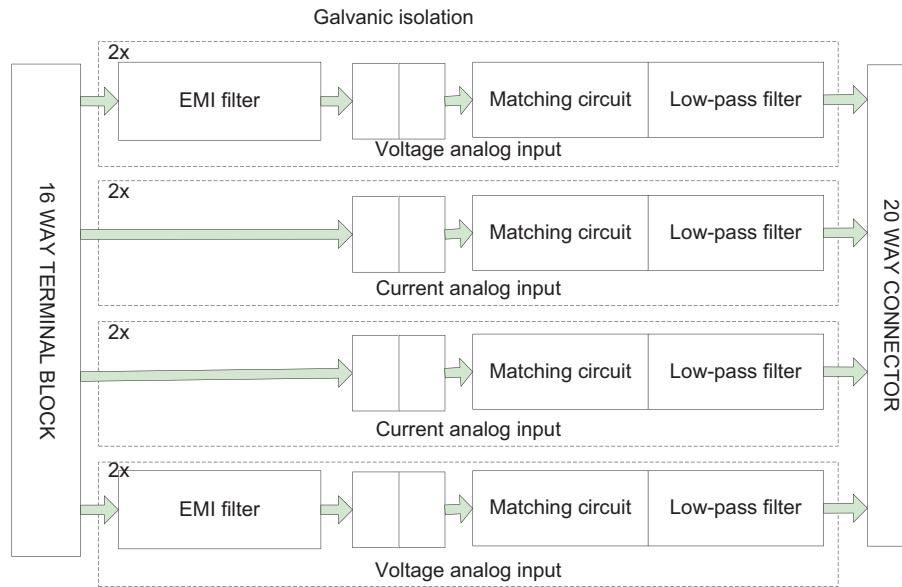


Fig. 13. Block diagram of the analogue input card

C50 and C51 is used to protect against an overvoltage impulse that might damage the protection device’s circuitry.

The analogue input module is also provided with four current circuits to measure three phase currents and residual current. Fig. 15 shows a schematic diagram of one of the four analogue current inputs. An LEM current transducer has been used as the separator. This is a Hall effect sensor for measuring a current with fixed and variable components. The separator is galvanically isolated up to 3 kV. In order to feed a current signal to the transducer, the current conductor has to be wound on a specially designed separator core. The transducer’s nominal input current is 24 mA, and its measurement range is –55 A do +55 A. The separator’s conversion rate is 1:1000, which produces output current ca. 25 mA at the nominal current on the transducer’s primary side. The system is characterized by very good linearity and wide bandwidth. The separator’s secondary side is powered at ± 12 V.

The analogue input module has eight four-order low-pass filters, for each measurement circuit. The filters are to protect against

electromagnetic interference and to reduce the maximum frequency of the signal transmitted to the A/D converter, which is necessary to meet the Shannon criterion. The filters have been implemented on Maxim analogue circuits.

The filter set consists of two cascading independent second-order filters. Each section can operate as a broadband or low-pass filter of Butterworth, Chebyshev, or Bessel type. It is configurable by four external resistors. The set features low noise and very good dynamics. The filter is a real-time filter, which requires no clock signal, and therefore the noises associated with the signal have been eliminated. Fig. 16 shows a diagram of the second-order filter with external resistors.

Each filter section consists of four wide-band operational amplifiers. The amplifiers with capacitors are connected by the external resistors, which act as integrators and implement the feedback between individual cascades. This design allows for the implementation of broadband and low-pass filters alike. In order to obtain the broadest bandwidth available, the high-pass filter (HP) node is not accessible. In addition, a 5 kΩ resistor has been connected to the last amplifier’s inverting input in order

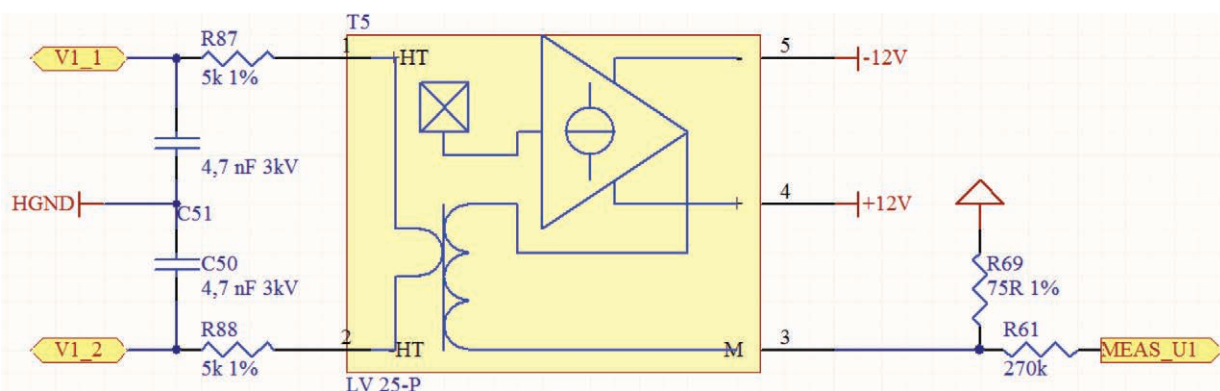


Fig. 14. Diagram of the analogue input module voltage circuit

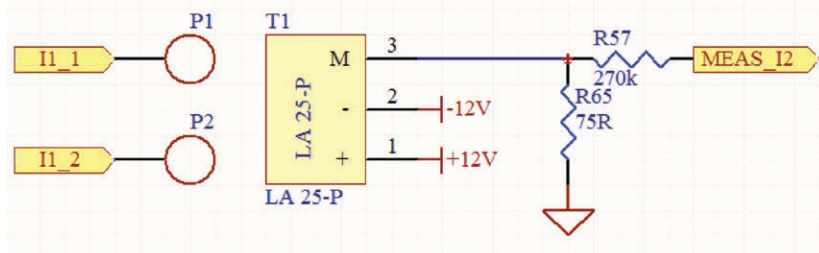


Fig. 15. Diagram of the analogue input module voltage circuit

to reduce the impact of parasitic capacitances that could significantly degrade the filter accuracy.

The low-pass filter was designed using Maxim's Filter Design Software developed for Maxim's analogue filter sets. The software automatically selects the external resistor values depending on predefined filter type and basic parameters. As the optimal low-pass filter with fairly steep amplitude-frequency characteristics, a four-order filter made up of two cascade-connected sections was selected. Cut-off frequency for both sections was adopted at 1.995 kHz. It enables the measurement signal's offset from various interferences, and ensures flawless signal discretisation by the A/D converter at a frequency above 4 kHz. An important element of the filter design is Q-factor defined as the frequency to bandwidth ratio. For the first section Q-factor was adopted at 0.548, and at 1.197 for the second section. The filter's aggregate Q-factor is 0.655. The gain at cut-off frequency is -3.652 dB (656.7 mV/V).

The other element that enables BICON's proper interoperability with other objects in the substation is the binary I/O module. The module consists separately of a binary input card and a binary output card that interoperate with each other via the internal data bus. Both cards form the protection device's integral I/O unit that communicates with the CPU through the shared data bus. The binary input card's design in electrical terms is the same as that of the card in the BICONIC device. All digital signals are fed to the connector module's input terminals. The 220 V DC signal fed to a binary input sets a logical value 1 on the card, and then

sends it to the CPU. In the absence of voltage at a binary input terminal, a logic state 0 appears. The card has been provided with eight digital inputs with galvanic separation up to 5 kV. In addition, systems have been applied to prevent feeding a surge pulse, which would damage the protection device's input electronics. Fig. 17 shows a block diagram of the binary input module.

The binary output card has a hybrid design, because it was provided with four outputs implemented on conventional electromechanical relays, and four fast outputs on solid-state relays, MOSFET power transistors. Fig. 18 shows the card's block diagram.

For BICON's housing a case manufactured by ABTECH has been selected. It is an aluminium case that features a high degree of protection against electromagnetic radiation and high resistance to weather conditions. Although it is more expensive than a plastic housing, in most cases it allows saving on additional cost-effective measures to improve shielding.

The shielding can be enhanced through the use of conductive seals between the lid and the bottom of the housing. For this purpose, the case's interior and sealing zone are left unpainted, and only the outer surfaces are powder-lacquered for anti-corrosion protection. The silicone seal coated with a layer of copper and silver forms a conductive connection between the housing components. Modules and couplers' large surfaces may be connected to the casing body on its inner walls. In addition, there are openings made in the housing for outputting the signalling LEDs to the device's front panel. Fig. 19 shows BICON device's structure and a description of its components.

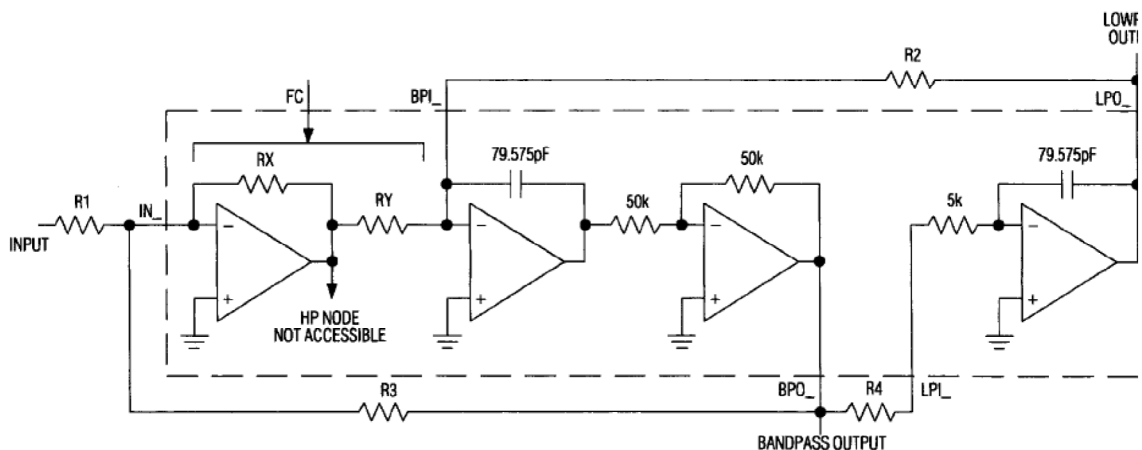


Fig. 16. Diagram of a second-order unit in the Maxim filter set

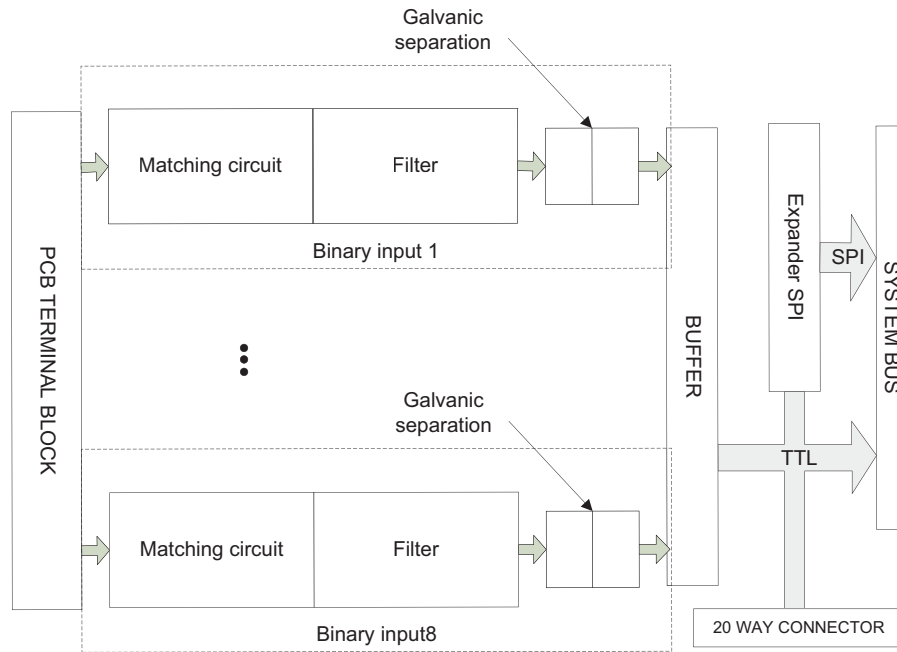


Fig. 17. Block diagram of BICON binary input module

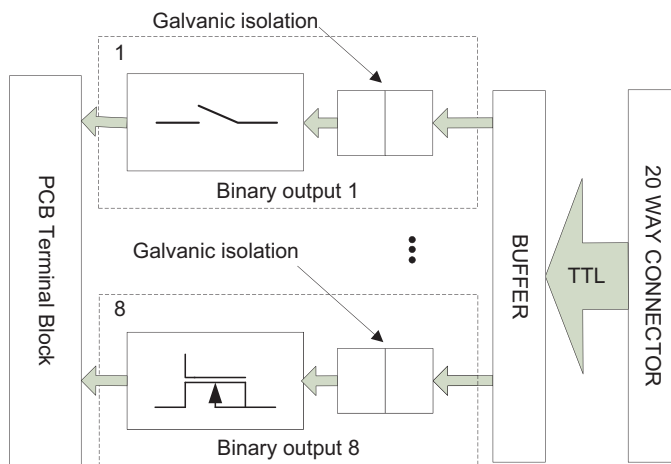
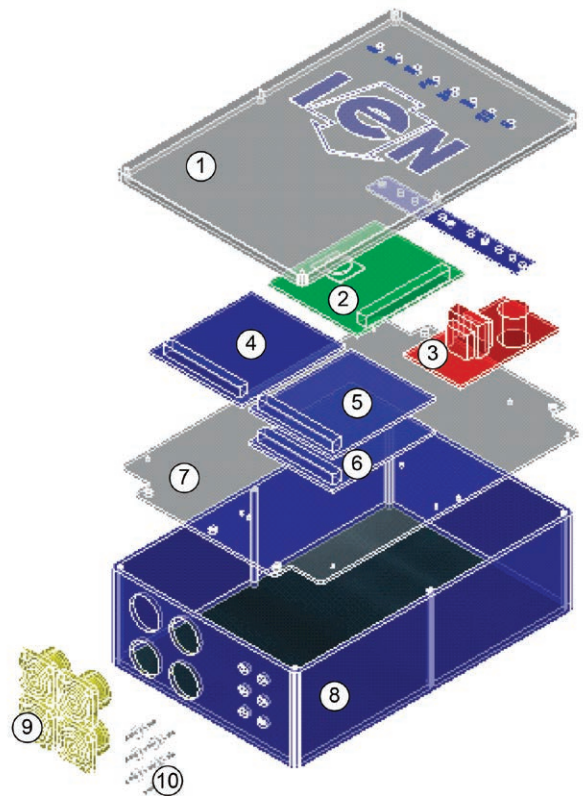


Fig. 18. Block diagram of BICON binary output module

4. Conclusions

The objective of the project was to develop a new generation, intranet-enabled power system automatic control device that would exchange data over an Ethernet/IP network and IEC 61850 protocol. As a result, two prototypes have been built of new generation power system automation devices with properties allowing their use in automation systems of a new type. Future applications of devices of this quality will allow simplifying substation wiring, unifying access to data available in installed microprocessor devices, developing new automation systems based on new technology solutions using these technologies (Ethernet/Intranet, GPS and advanced protocols such as IEC 61850) [3].



1. Casing, top cover, 2. CPU module, 3. Power supply, 4. Analogue input module, 5. Binary output module, 6. Binary input module, 7. Mounting plate, 8. Casing, main element, 9. Electrical signal connectors, 10. ST/ST adapters for outputting optical digital signals [2]

Fig. 19. BICON modules and connectors

REFERENCES

1. Kowalik R., Sieci komputerowe jako podstawa funkcjonowania następnej generacji urządzeń automatyki elektroenergetycznej [Computer networks as the basis for the operation of the next generation of automation devices], KBN project No. 4T10B07122, Warszawa 2005.
 2. Kowalik R., Januszewski M., Coordination of protections through the exchange of binary signals between power system substations in the IEC61850 protocol, *Przełąd Elektrotechniczny* 2009, No. 6 (in English) pp. 195–201.
 3. Kowalik R., Januszewski M., Gontarz K., final report of project No. 0492/R/T02/2007/03 Intranetowe urządzenie automatyki elektroenergetycznej nowej generacji [Intranet-enabled new generation electrical power system automation device], Warszawa 2010.
-

Kamil Gontarz

Warsaw University of Technology

e-mail: kamil.gontarz@ien.pw.edu.pl

A graduate of the Electrical Engineering Department of Warsaw University of Technology (2010). Currently a PhD student at the Institute of Electrical Power of his alma mater, and an engineer at Central Military Bureau of Design and Technology S.A. His main professional interests relate to microprocessor electrical power automation devices, and airfield systems of aircraft power supply.

Ryszard Kowalik

Warsaw University of Technology

e-mail: ryszard.kowalik@ien.pw.edu.pl

He has worked at the Institute of Electrical Power Engineering, Warsaw University of Technology since 1989. He is a co-author of modern digital protection and microprocessor technology laboratories launched at the Department of Automation of Electric Power Engineering Institute. His professional interests concern the power of automation equipment, synchronization systems and telecommunications systems.

Désiré D. Rasolomampionona

Warsaw University of Technology

e-mail: desire.rasolomampionona@ien.pw.edu.pl

Since 1994 a researcher/teacher in Electrical Power Engineering Institute of Warsaw University of Technology. He is currently the head of the Department of Apparatus, Electrical Power Protection and Control. His research interests focus mainly on issues relating to electrical power automation, power system control the operation control, and applications of telecommunications and modern information technologies in the power industry.

Marcin Januszewski

Warsaw University of Technology

e-mail: marcin.januszewski@ien.pw.edu.pl

An assistant professor in Institute of Electrical Power Engineering of Warsaw University of Technology since 2002. Head of the Digital Protection Devices Testing Laboratory. Author and co-author of scientific publications, research studies, and implementations of remote systems of protection supervision.

This is a supporting translation of the original text published in this issue of "Acta Energetica" on pages 40–50. When referring to the article please refer to the original text.

PL

Konstrukcja i działanie przykładowego urządzenia MERGING UNIT

Autorzy

Kamil Gontarz
Ryszard Kowalik
Désiré D. Rasolomampionona
Marcin Januszewski

Słowa kluczowe

zabezpieczenia cyfrowe, IEC 61850, urządzenia automatyki elektroenergetycznej

Streszczenie

W artykule opisano konstrukcje nowoczesnych urządzeń cyfrowej automatyki zabezpieczeniowej, wykorzystujących technologie Ethernet jako główne medium wymiany informacji. Pozwala to na zbudowanie architektury komunikacyjnej systemu elektroenergetycznego, wykorzystującej wszystkie aspekty standardu IEC 61850.

1. Wstęp

Na przestrzeni ostatnich lat nastąpiła zmiana technologii wykorzystywanej do budowy urządzeń automatyki elektroenergetycznej. Rozwiązania analogowe statyczne zostały zastąpione przez układy mikroprocesorowe, charakteryzujące się nieporównanie większymi możliwościami funkcjonalnymi. Równie duży skok nastąpił w dziedzinie komunikacji z urządzeniami automatyki, co umożliwiło zbudowanie systemów lokalnego oraz zdalnego nadzoru urządzeń i obsługiwanym przez nie stacji elektroenergetycznych. Urządzenia wykorzystywane do budowania układów automatyki są obecnie coraz częściej wyposażane w porty komunikacyjne pozwalające na wymianę danych z prędkością 10 lub 100 Mb/s, co umożliwi przesyłanie coraz bardziej rozbudowanych struktur danych, z wykorzystaniem skomplikowanych protokołów komunikacyjnych w czasie kilkunastu ms. Dane podlegające wymianie są zwykle oznaczone cechą czasu, której precyzja, ze względu na stosowanie systemu GPS, może sięgać ułamka mikrosekundy. Z analizy obserwowanego w ostatnich latach rozwoju układów i urządzeń automatyki elektroenergetycznej wynika, że nowe możliwości pojawiające się w dziedzinie układów automatyki elektroenergetycznej ściśle zależą od właściwości funkcjonalnych używanych urządzeń automatyki oraz systemów telekomunikacyjnych.

W takiej sytuacji energetyka zawodowa stoi na progu zmian związanych z uproszczeniem okablowania stacyjnego, ujednocnieniem dostępu do danych dostępnych w urządzeniach mikroprocesorowych oraz tworzeniem nowych układów automatyki opartych na nowych rozwiązaniach technologicznych wykorzystujących wspomniane technologie (Ethernet/Intranet, GPS i zaawansowane protokoły komunikacyjne). Wychodząc naprzeciw tym wymaganiom, Międzynarodowa Komisja Elektrotechniczna IEC (ang. *International Electrotechnical Commission*) opracowała standard IEC 61850. Standard ten jest w pewnym sensie koncepcją określającą sposób projektowania oraz budowę systemów elektroenergetycznych. Definiuje on system elektroenergetyczny jako model

składający się z obiektowych modeli urządzeń połączonych w sieć.

Standard IEC 61850 wymaga dużej przepustowości transmisji oraz małych opóźnień. Typowe interfejsy szeregowy, takie jak RS232/422/485, stosowane dotychczas w systemach elektroenergetycznych, nie spełniają wymogów standardu IEC 61850. Dopiero wprowadzenie technologii Ethernet do obiektów energetycznych pozwoliło na zbudowanie platformy komunikacyjnej wykorzystującej aspekty standardu IEC 61850.

Obserwowana zmiana technologiczna powoduje, że obecnie stosowane urządzenia automatyki stacyjnej w przyszłości przestaną być atrakcyjne dla energetyki zawodowej ze względu na brak możliwości ich wykorzystania w nowych układach. Spowoduje to konieczność kupowania nowych urządzeń, których stopień skomplikowania w sensie wykorzystywanych standardów, protokołów komunikacyjnych oraz układów pomiarowych i synchronizacji jest znacznie większy od dotychczasowych. Z tego względu w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej opracowano nowoczesne urządzenia spełniające nowe wymagania energetyki. Konstrukcje urządzeń opisanych w tym artykule powstały w wyniku realizacji prac związanych z projektem pt. „Intranetowe urządzenie automatyki elektroenergetycznej nowej generacji”, realizowanym w ramach MNiŚW 0492/R/T02/2007/03. Są one ciągle rozwijane i udoskonalane.

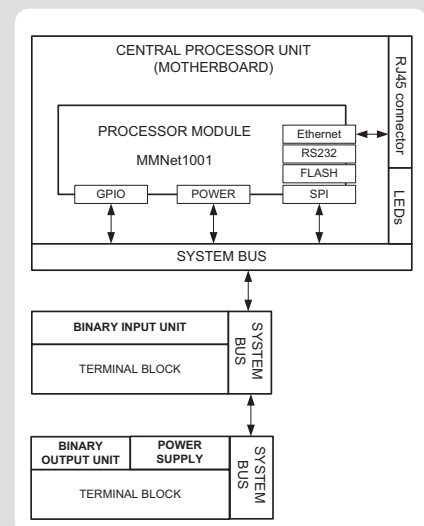
2. Konstrukcja urządzenia BICONIC

Konstrukcja urządzenia IED w wersji pierwszej, którą nazwano roboczo urządzeniem BICONIC, oparta została na przemysłowym komputerze z rodziny ARM9. Wykorzystanie mikrokontrolerów ARM9 do budowy tego typu urządzeń jest możliwe dlatego, że mają one odpowiednie poziomy odporności na zakłócenia elektromagnetyczne, odpowiednią moc obliczeniową, łączy Ethernet oraz nie mają do czynienia z sygnałami (napięciowymi i prądowymi) pochodzącymi z obwodów wtórnych. Urządzenie to jest wyposażone w wejścia i wyjścia dwustanowe, przystosowane do współpracy z konwencjonalnymi urządzeniami stosowanymi do tej pory, więc

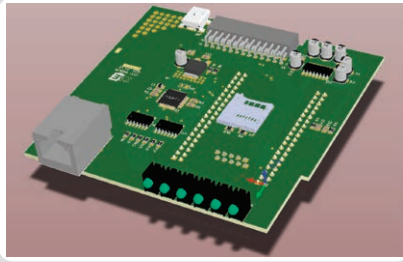
jego zastosowanie nie wymaga ingerencji w konfigurację obwodów pierwotnych stacji. Sterownik IED BICONIC został zaprojektowany w oparciu o komputer wbudowany, który jest miniserwerem z wejściami i wyjściami cyfrowymi oraz interfejsami komunikacyjnymi, umożliwiającymi sterowanie, monitorowanie lub zdalne nadzorowanie obiektu elektroenergetycznego.

Koncepcja komputera wbudowanego pozwoliła na opracowanie sterownika wielofunkcyjnego, zawierającego wszystkie niezbędne interfejsy (w szczególności Ethernet), a jednocześnie wyposażonego w wejścia i wyjścia obiektowe dwustanowe, dzięki którym urządzenie pełni kontrolę nad nadzorowanym obiektem. Sterownik BICONIC opracowany został z wykorzystaniem konstrukcji modułowej składającej się z jednostki centralnej, modułu wyjść dwustanowych oraz karty wejść dwustanowych. Schemat blokowy opracowanego sterownika BICONIC został przedstawiony na rys. 1.

Jednostka centralna składa się z karty procesorowej i płyty głównej. Jako kartę procesorową wykorzystano gotowe rozwiązanie



Rys. 1. Schemat blokowy urządzenia BICONIC



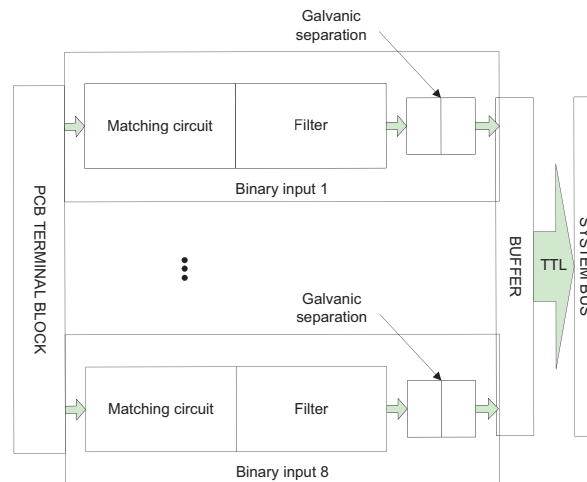
Rys. 2. Płyta główna jednostki centralnej urządzenia BICONIC

firmy Propox. Płyta główna została zaprojektowana w Instytucie Elektroenergetyki w celu dopasowania modułu do konstrukcji urządzenia BICONIC.

Komputer wbudowany jest uniwersalnym modulem przeznaczonym do pracy pod kontrolą systemów operacyjnych klasy Linux czy Windows CE. Wyposażony jest w szybki procesor z rodziny ARM9 (210 lub 400 MHz), 64 MB pamięci RAM, 1 GB pamięci Flash, Ethernet 100 Mbit oraz inne interfejsy komunikacyjne. Porty procesora zostały wyprowadzone na dwa złącza szpilkowe. Dzięki wykorzystaniu układów w obudowach BGA oraz wielowarstwowego obwodu drukowanego moduł ma małe wymiary, co sprawia, że jest idealnym rozwiązaniem dla kompaktowej budowy urządzenia BICONIC.

Komputer wbudowany oparty jest na 32-bitowym procesorze z rodziny ARM926-EJ o symbolu AT91SAM9260. Jednostka ta zaprojektowana jest w architekturze RISC. Charakteryzuje się ona dużą mocą obliczeniową przy stosunkowo niskim poborze mocy. Pozwala to na instalację systemów operacyjnych z zaimplementowanymi mechanizmami wielowątkowości, stosem TCP/IP czy własnym systemem plików. Obecnie istnieje wiele systemów operacyjnych współpracujących z procesorami ARM. Do systemów tych można zaliczyć Windows CE, FreeBSD, jak również dystrybucje Linuxa opatrzone dodatkową nazwą *embedded* (np. Embedded Debian). W przeciwieństwie do układów opartych na jednostkach CPU x86, zaprojektowanych w architekturze CISC, nowoczesny układ ARM9 sprawia, że moduł procesora staje się wydajną i energooszczędną platformą niewydzielającą nadmiernej ilości ciepła. Komputer został wyposażony w 1 GB NAND Flash oraz 64 MB SDRAM, co jest wystarczające do poprawnej pracy systemu operacyjnego Linux wraz z uruchomionym serwerem IEC 61850 firmy Tamarack (obecnie Triangle MicroWorks, Inc.).

W celu adaptacji komputera do standardu urządzenia została opracowana karta wejściowa. Jej zadaniem jest dostosowanie sygnałów i złącza komputera do standaryzowanej magistrali danych urządzenia BICONIC oraz dostosowanie kształtu płytki PCB do obudowy urządzenia. Dodatkowo karta bazowa ma za zadanie zbieranie parametrów pracy urządzenia (temperatura, wartości napięć), wyprowadzenie kontrolki sygnalizacyjnych oraz złącza Ethernet na panel przedni urządzenia. Na rys. 2 przedstawiono widok płytki bazowej dla komputera wbudowanego.



Rys. 3. Schemat blokowy karty wejść dwustanowych urządzenia BICONIC

Dostęp do systemu możliwy jest za pośrednictwem klienta SSH, poprzez interfejs Ethernet, jak również w przypadku prac serwisowych poprzez porty RS232/422/485.

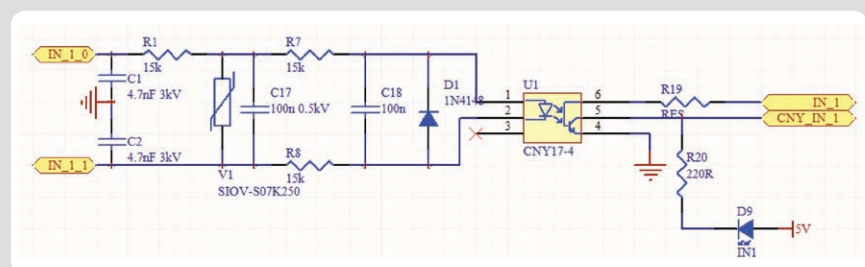
Karta wejść dwustanowych została zaprojektowana w celu odbierania sygnałów dwustanowych, które są źródłem informacji o położeniu styków wyłączników, odłączników, jak również informacji na temat zadziałania innych urządzeń zabezpieczających. Wszystkie sygnały cyfrowe podawane są na zaciski wejściowe złącza modułu. Podanie na dane wejście dwustanowe sygnału o wartości 220 V DC powoduje ustawienie wartości logicznej 1 na karcie, a następnie jej przesłanie do jednostki centralnej. W przypadku braku napięcia na zacisku wejścia dwustanowego ustawiany jest stan logiczny 0. Karta została wyposażona w osiem wejść cyfrowych z separacją galwaniczną na poziomie 5 kV. Dodatkowo zostały zastosowane układy zabezpieczające przed podaniem impulsu przepięciowego, który spowodowałby uszkodzenie wejściowych układów elektronicznych urządzenia zabezpieczającego.

Na rys. 3 został przedstawiony schemat blokowy modułu wejść dwustanowych.

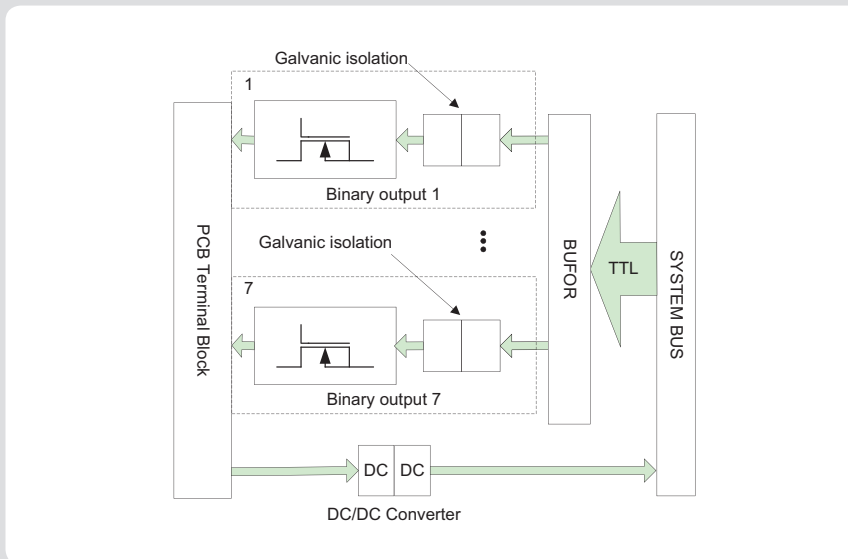
Na rys. 4 przedstawiono układ wejścia dwustanowego po stronie pierwotnej. Układ składa się z dzielnika napięciowego, który realizują rezystory R1, R7 i R8. Wartości zostały tak dobrane, żeby wymuszony prąd diody transoptora nie przekroczył wartości dopuszczalnej przy podanym sygnale 220 V dc. Kondensatory C1 oraz C2

stanowią zabezpieczenie przeciwprzepięciowe, natomiast warystor V1 został zastosowany w celu eliminacji wzrostu napięcia na diodzie transoptora powstałego w wyniku przepięcia. Kondensatory C17 i C18 zostały zastosowane w celu eliminacji krótkotrwałych impulsów napięciowych. Dodatkowo układ został zabezpieczony diodą D1 przed podaniem na wejście dwustanowe napięcia o przeciwniej polaryzacji, które mogłoby spowodować przebicie diody transoptora, doprowadzając do jego uszkodzenia. Elementem odpowiadającym za separację galwaniczną karty wejść cyfrowych jest transoptor optyczny. Element ten jest zbudowany z fotodiody (diody LED) oraz fotodetektora (fototranzystora) umieszczonego w jednej obudowie. Dzięki sprzężeniu optycznemu pomiędzy tymi elementami transoptor przesyła sygnały elektryczne, zapewniając separację galwaniczną do 5 kV. Fototranzystor transoptora pracuje w układzie wzmacniacza ze wspólnym emiterem. Gdy brak napięcia na zaciskach wejścia cyfrowego, potencjał na kolektorze fototranzystora (nóżce piątej transoptora) wynosi 5 V. W przypadku podania napięcia 240 V na wejście układu fototranzystor zaczyna przewodzić i potencjał na kolektorze spada do 0 V. Reasumując, transoptor odwraca fazę sygnału wejściowego, podając logiczne zero do bufora w przypadku obecności napięcia na wejściu karty, natomiast brak napięcia powoduje wystawienie logicznej jedynki na jedno z wejść bufora.

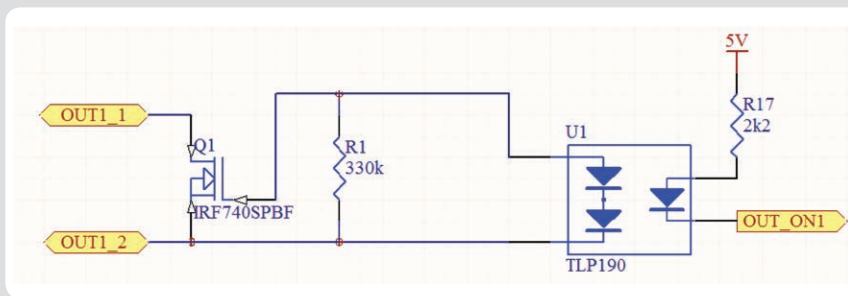
Karta wejść dwustanowych służy do podawania sygnału dwustanowego do urządzenia zabezpieczeniowego do sterowanego



Rys. 4. Schemat ideowy wejścia dwustanowego



Rys. 5. Schemat blokowy karty wyjść dwustanowych w urządzeniu BICONIC



Rys. 6. Schemat obwodu wyjściowego opartego na przełączniku półprzewodnikowym

obiekty, np. wyłącznika. Karta została wyposażona w siedem wyjść zbudowanych na przełącznikach półprzewodnikowych – tranzystorach mocy typu MOSFET. Dzięki zastosowaniu przełączników półprzewodnikowych szybkość załączania wzrosła z 40 ms do ok. 1 ms. Przełączniki półprzewodnikowe są bardziej odporne na proces starzeniowy wywołany liczbą załączeń, jak również mają możliwość komutowania większych wartości prądu. W przypadku klasycznych przełączników wyłączanie dużych wartości prądu przyczynia się do powstania łuku między stykami przełącznika, co powoduje ich uszkodzenie. Wszystkie wejścia mają izolację galwaniczną, dzięki której urządzenie zabezpieczeniowe jest odporne na różnego rodzaju zakłócenia występujące w obrębie stacji elektroenergetycznej. Ze względu na kompaktową budowę urządzenia karta wyjść dwustanowych ma zintegrowaną przetwornicę DC/DC umożliwiającą bezpieczne zasilanie sterownika.

Na rys. 5 przedstawiono schemat blokowy układu wyjść dwustanowych. Układ wyjść dwustanowych na karcie został zbudowany z wykorzystaniem przełączników półprzewodnikowych. Elementem wykonawczym jest tranzystor mocy typu MOSFET. Jako układ sterujący zastosowano specjalny sterownik, który do sterowania tranzystorem nie wymaga dodatkowego źródła energii. W typowych rozwiązaniach elementem zasilającym obwód po stronie pierwotnej była

przetwornica DC-DC, posiadająca odpowiednią izolację galwaniczną. Wiązało się to z zastosowaniem dodatkowych elementów, np. rezystorów wymuszających odpowiedni prąd dla bramki tranzystora. Elementy te zostały zastąpione jednym transoptorem, który wykorzystuje zjawisko fotowoltaiczne w celu wysterowania tranzystora mocy. Transoptor składa się z diody LED emitującej światło w podczerwieni, sprzężonej światłowodem z szeregiem fotodetektorów, które dzięki zjawisku fotowoltaicznemu przystosowane są do sterowania tranzystorami typu MOSFET. W momencie pojawienia się stanu niskiego w punkcie OUT_ON1 (rys. 6) rezystor R17 wymusza przepływ prądu przez diodę transoptora. Na anodzie fotodetektora pojawia się potencjał 10 V względem katody, który powoduje przejście tranzystora w stan niskiej impedancji. Schemat ideowy, przedstawiający obwód wyjścia dwustanowego, został przedstawiony na rys. 6.

Na obudowę urządzenia BICONIC (rys. 7) została zaadaptowana obudowa przystosowana do konstrukcji modułowej urządzenia. Obudowa umożliwia zainstalowanie trzech modułów sterownika. Głównym modułem jest płyta bazowa z komputerem wbudowanym, umieszczona w środkowej części obudowy. Pozostałe dwa sloty w obudowie zajmują karty dodatkowe, np. wejść i wyjść dwustanowych, wejść analogowych.

3. Konstrukcja urządzenia BICON

W ramach przedsięwzięcia opracowano również bardziej rozbudowany sterownik o roboczej nazwie BICON. Charakteryzuje się on większą szybkością działania jednostki centralnej, zastosowaniem innego typu elementów izolacyjnych w wejściach napięciowych i prądowych oraz powiększoną obudową o większej wytrzymałości mechanicznej.

Urządzenie w tej wersji składa się z następujących modułów:

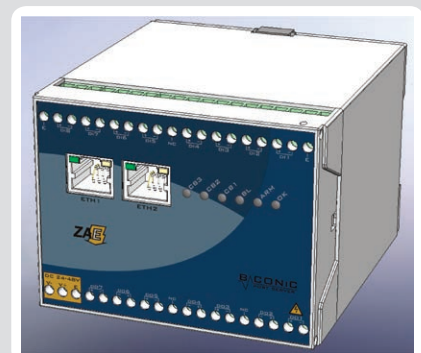
- modułu jednostki centralnej, która może wystąpić w dwu typach: modułu Advantech HLV800-256AV, ze zintegrowanym modułem wejść i wyjść dwustanowych oraz wejść analogowych, lub modułu Advantech PCM-4170
- modułu karty wejść i wyjść dwustanowych oraz wejść analogowych firmy Diamond typu: MM-DX-32AT dla jednostki PCM-4170
- modułu wejść analogowych z izolacją galwaniczną, wykorzystującego przetworniki firmy LEM
- modułu wejść dwustanowych z izolacją galwaniczną
- modułu wyjść dwustanowych z izolacją galwaniczną, wykorzystującego przełączniki oraz tranzystory MOSFET
- modułu wyjść dwustanowych z izolacją galwaniczną wykorzystującego tranzystory MOSFET.

Schemat blokowy tego urządzenia został przedstawiony na rys. 8.

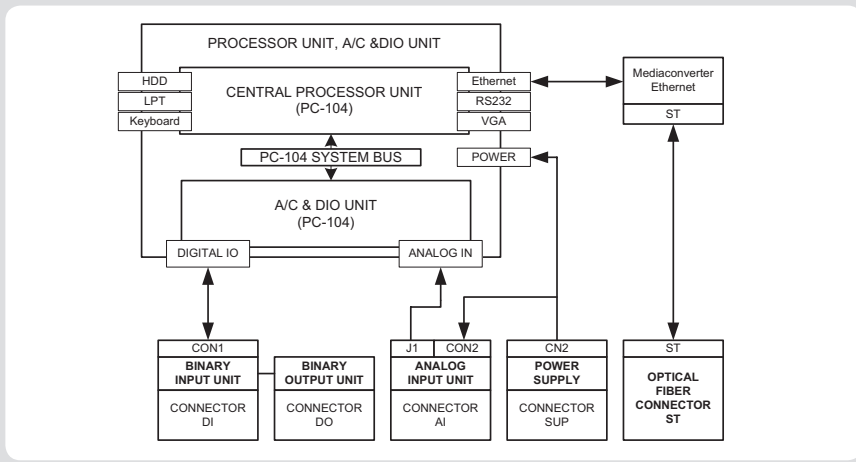
Urządzenie BICON może być wyposażone w różne układy procesorowe z uruchomionym systemem operacyjnym. Do zbudowania funkcjonujących prototypów wykorzystano moduł mikrokomputera firmy Advantech oraz moduł firmy Diamond.

Moduł firmy Advantech jest jednopłytkowym komputerem formatu PC/104 o wysokiej skali integracji. Został wyposażony w procesor typu ULV Intel® Celeron® 400 MHz. Dysponuje 1 GB pamięci Flash, w której zainstalowano system Windows XP Embedded. Pamięć RAM zainstalowana w module ma pojemność 512 MB. Moduł umożliwia podłączenie dodatkowych modułów PC-104. Schemat blokowy karty procesora przedstawiono na rys. 9.

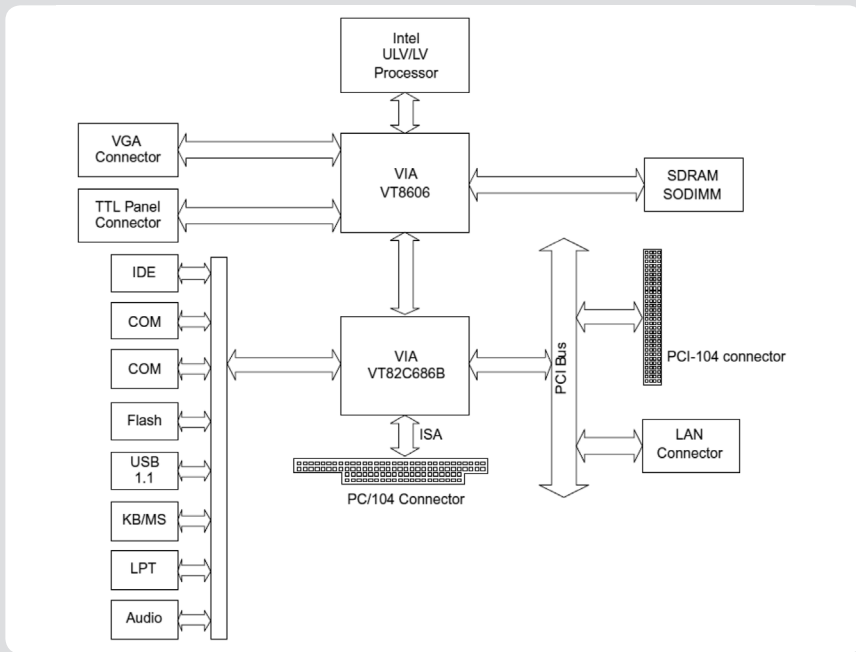
W urządzeniu BICON moduł jednostki centralnej (procesora) współpracuje z modułem wejść i wyjść cyfrowych oraz analogowych za pośrednictwem magistrali PC-104. Układ ten został wyposażony



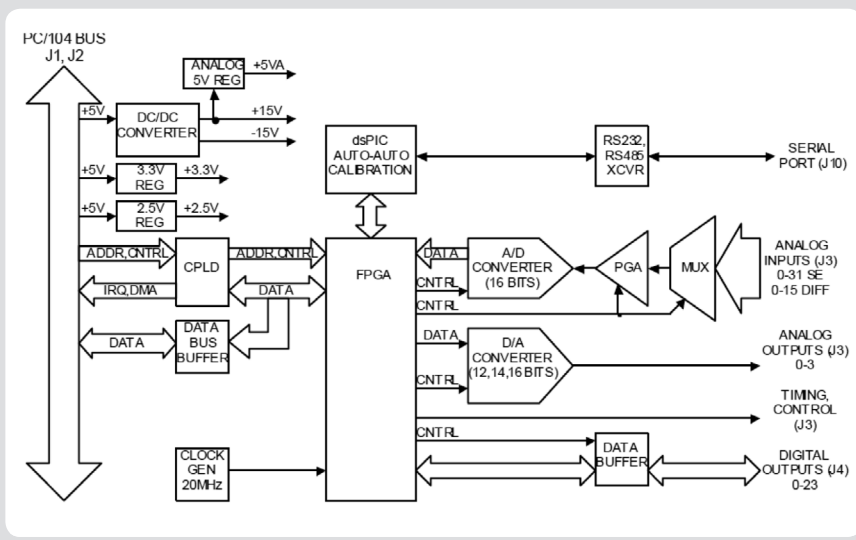
Rys. 7. Obudowa urządzenia BICONIC



Rys. 8. Schemat blokowy urządzenia BICON



Rys. 9. Schemat blokowy karty procesorowej firmy DIAMOND [3]



Rys. 10. Schemat blokowy działania modułu wejść/wyjść cyfrowych i analogowych firmy DIAMOND [3]

w 32 kanały analogowe. Zastosowany w nim przetwornik ma rozdzielczość 16 bitów oraz pozwala na pobieranie próbek z maksymalną szybkością 250 kHz. Dodatkowo układ wyposażono w 4 wyjścia analogowe, pracujące z rozdzielczością 16 lub 12 bitów; licznik 32-bitowy, 31 wejść/wyjść dwustanowych oraz jeden 16-bitowy licznik ogólnego zastosowania. Działanie modułu wejść/wyjść cyfrowych i analogowych przedstawiono na rys. 10. Sygnały analogowe wprowadzane są poprzez układ przełącznika na przetwornik A/D, który dokonuje przetwarzania. Dane w postaci cyfrowej przekazywane są do układu FPGA. Układ ten zarządza również pracą wejść/wyjść dwustanowych oraz układem przetwornika D/A. Pełni rolę pośrednika między sygnałami zewnętrznymi a magistralą PC/104 BUS.

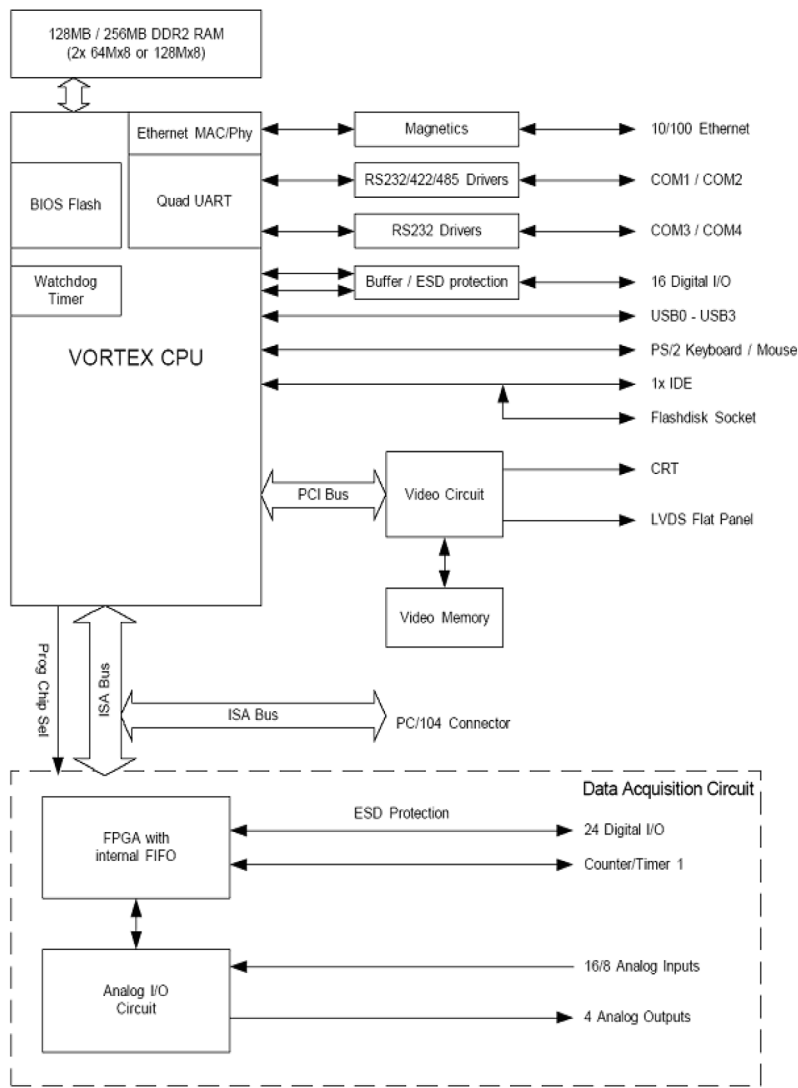
Drugim rozwiązaniem było zastosowanie jednostki centralnej firmy Diamond. Jednostka ta jest jednopłytkowym komputerem formatu PC/104 o wysokiej skali integracji, zawierającym układy akwizycji sygnałów analogowych oraz dwustanowych. Moduł zapewnia niewielkie zużycie energii przy wysokiej wydajności, umożliwia zmniejszenie rozmiarów i kosztów budowanych na jego podstawie urządzeń, przy jednoczesnym zwiększeniu ich wydajności. Moduł wykorzystuje procesor z rodziny Vortex86SX/DX, pracujący z zegarem 300 MHz lub 800 MHz, który ma do dyspozycji 128 MB lub 256 MB pamięci DRAM. Moduł procesora zawiera wiele bloków funkcjonalnych. Jego schemat blokowy przedstawia rys. 11.

Jednostka centralna firmy Diamond zawiera zintegrowany blok przetwornika A/C i C/A, mający również porty wejść/wyjść cyfrowych. Na rys. 12 pokazano schemat blokowy tego układu. Składa się on z 16-bitowego przetwornika A/C, współpracującego z 16-wejściowym multiplekserem analogowym oraz blokiem wzmacniacza o programowanym wzmocnieniu. Blok przetwornika zawiera bufor FIFO pozwalający na przechowanie 2048 16-bitowych próbek oraz sterownik pozwalający na wykonanie autokalibracji.

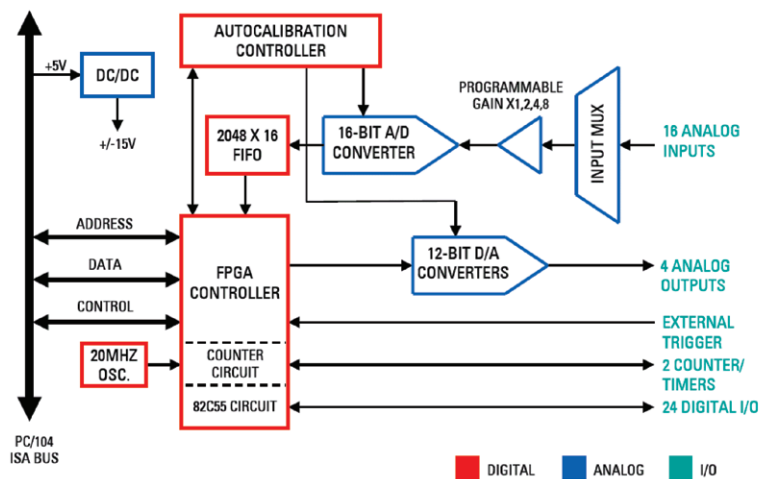
W bloku przetwornika znajdują się także: przetwornik C/A oraz blok 24 wejść/wyjść cyfrowych, zgodny od strony programowej z popularnym układem 82C55. Całość jest sterowana układem FPGA. Od strony programowej układy peryferyjne modułu stanowią zbiór rejestrów umieszczonych w 16 kolejnych adresach przestrzeni adresowej procesora.

Ze względu na konieczność implementacji protokołu IEC 61850 oraz zapewnienie szybkiej wymiany danych między opracowywanym urządzeniem i innymi urządzeniami automatyki w standardzie Ethernet, przy zachowaniu wysokiej odporności transmisji na zakłócenia elektromagnetyczne, zdecydowano się na wykorzystanie w konstrukcji odpowiedniego rodzaju konwertera. Konwerter ten dokonuje zamiany standardu Ethernet 100BaseTX na 100BaseFL.

W urządzeniu w roli konwertera wykorzystano moduł firmy Fibrain, który umożliwił pracę w dużych sieciach światłowodowych Ethernet. Konwerter zapewnia poprawną transmisję danych na odległość do 2 km. Urządzenie wykorzystuje długość fali 1310 nm i jest w pełni kompatybilne ze standardem IEEE802.3u. Wbudowany switch ASIC umożliwia pracę jako 2-portowy



Rys. 11. Schemat blokowy modułu procesora firmy DIAMOND [3]



Rys. 12. Schemat blokowy bloku przetwornika A/C i C/A oraz wejść/wyjść cyfrowych [3]

switch lub jako tradycyjny konwerter. Dodatkowo status pracy może być monitorowany za pomocą diod sygnalizacyjnych umieszczonych na panelu przednim.

Urządzenie BICON zostało wyposażone w kartę wejść analogowych do pomiaru sygnałów prądów i napięć. Do modułu doprowadzane są sygnały pomiarowe z zacisków wtórnych przekładników prądowych i napięciowych. Karta została wyposażona w cztery wejścia napięciowe oraz prądowe, przystosowane do pomiaru sygnałów przemiennych o częstotliwości 50 Hz. Zadaniem karty jest separacja galwaniczna obwodów wtórnych przekładników od części elektronicznej układu pomiarowego przekąźnika. Dodatkowo sygnał zostaje odstrojony od zakłóceń przez układ przeciwzakłóceńowy oraz dostosowany do wspólnego poziomu, dogodnego do dalszej obróbki. Następnie jest odfiltrowany przez filtr dolnoprzepustowy w celu eliminacji składowych o częstotliwości większej od połowy częstotliwości próbkowania przetwornika A/C, które podczas dyskretyzacji sygnału mogłyby doprowadzić do nieusuwalnych później błędów. Sygnał analogowy zostaje następnie przekazany do jednostki centralnej za pomocą 20-pinowego złącza, gdzie następuje proces próbkowania. Dodatkowo karta została wyposażona w czujnik do pomiaru temperatury, dzięki któremu można monitorować temperaturę panującą wewnątrz urządzenia zabezpieczeniowego. Schemat blokowy karty wejść analogowych został przedstawiony na rys. 13.

Karta wejść analogowych została wyposażona w cztery tory pomiarowe dla trzech napięć fazowych i napięcia zerowego.

Na rys. 14 został przedstawiony schemat ideowy jednego z czterech analogowych wejść napięciowych. Kluczowym elementem tego układu jest przetwornik liniowy firmy LEM, wykorzystujący efekt Halla. Zapewnia on izolację galwaniczną między stroną pierwotną a układem elektronicznym przekąźnika zabezpieczeniowego, rzędu 2,5 kV. W przetworniku sygnały wejściowe doprowadzane są na wejścia 1 i 2. Jego działanie polega na tym, że prąd wyjściowy z pinu trzeciego jest proporcjonalny do prądu wejściowego. Wartość nominalna prądu wejściowego dla zastosowanego przetwornika wynosi 10 mA, natomiast zakres pomiarowy jest od 0 do ± 14 mA. Aby możliwy był pomiar napięcia, należało zastosować rezystancje R87 i R88, która wymusza przepływ prądu proporcjonalnego do mierzonego napięcia przez wejście separatora. Dla łącznej wartości rezystorów wynoszącej 10 k Ω zostaje wymuszony prąd o wartości 10 mA, przy napięciu mierzonym 100 V. W celu zmniejszenia wartości błędu pomiaru należy zastosować rezystory o tolerancji 1% lub mniejszej. Współczynnik konwersji separatora wynosi 2500:1000. Daje to wartość prądu wyjściowego rzędu 25 mA, przy prądzie nominalnym po stronie pierwotnej przetwornika. Następnie mierzony jest spadek napięcia na rezystorze bocznikującym R69. Separator zasilany jest od strony wtórnej napięciem ± 12 V. Dodatkowo w torze napięciowym zastosowano obwód przeciwzakłóceńowy składający się z kondensatorów C50 i C51, chroniący przed wystąpieniem impulsu

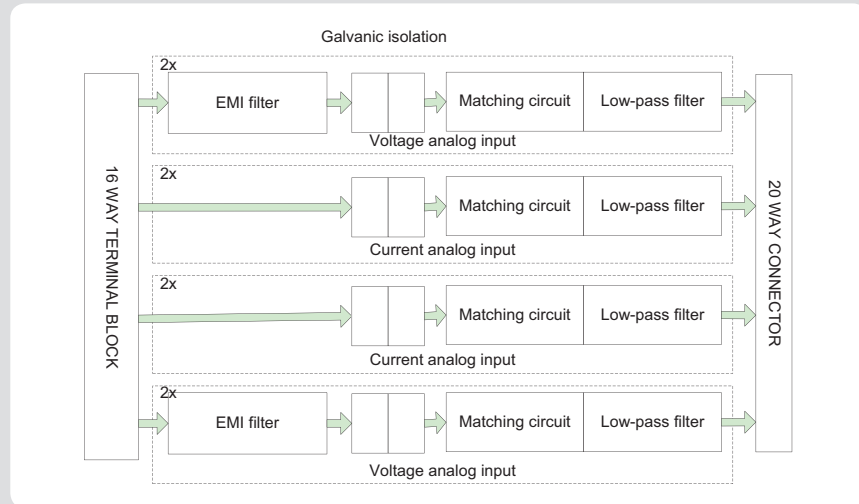
przebiegiem, który mógłby doprowadzić do uszkodzenia obwodów urządzenia zabezpieczeniowego.

Karta wejść analogowych została wyposażona również w cztery torry prądowe służące do pomiaru trzech prądów fazowych oraz prądu zerowego. Na rys. 15 został przedstawiony schemat ideowy jednego z czterech wejść analogowych prądowych. Jako separator został użyty przetwornik prądowy firmy LEM. Jest to przetwornik wykorzystujący efekt Halla, służący do pomiaru prądu o składowej stałej i zmiennej. Separator posiada izolację galwaniczną o wartości 3 kV. W celu doprowadzenia sygnału prądowego do przetwornika należy nawinąć przewód prądowy na specjalnie zaprojektowany rdzeń separatora. Wartość nominalna prądu wejściowego dla zastosowanego przetwornika wynosi 25 A, natomiast zakres pomiarowy stanowi od -55 A do +55 A. Współczynnik konwersji separatora wynosi 1:1000, co daje wartość prądu wyjściowego rzędu 25 mA, przy prądzie po stronie pierwotnej przetwornika równym wartości znamionowej. Układ charakteryzuje się bardzo dobrą liniowością oraz szerokim pasmem przenoszenia. Separator zasilany jest od strony wtórnej napięciem ± 12 V.

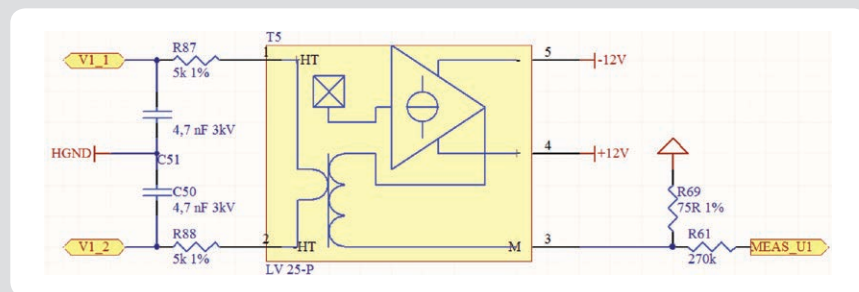
Karta wejść analogowych posiada osiem filtrów dolnoprzepustowych czwartego stopnia, dla każdego toru pomiarowego. Filtry mają na celu ochronę przed zakłóceniami elektromagnetycznymi oraz zmniejszają maksymalne częstotliwości sygnału podanego na układ przetwornika A/C, co jest konieczne do spełnienia warunku Shannona. Filtry zostały zrealizowane na układach analogowych firmy Maxim. Układ filtra składa się z dwóch niezależnych filtrów kaskadowych drugiego rzędu. Każda sekcja może pracować jako filtr szerokopasmowy lub dolnoprzepustowy typu Butterwortha, Czebyszewa czy Bessela. Jest ona konfigurowalna przez cztery zewnętrzne rezystory. Układ charakteryzuje się niskim poziomem szumów oraz bardzo dobrą dynamiką. Zastosowany filtr jest filtrem czasu rzeczywistego, który nie wymaga sygnału zegarowego, dzięki czemu zostały wyeliminowane szумы związane z sygnałem zegarowym. Na rys. 16 został przedstawiony schemat filtra drugiego rzędu wraz z rezystorami zewnętrznymi.

Każda sekcja filtra składa się z czterech szeroko pasmowych wzmacniaczy operacyjnych. Wzmacniacze wraz z kondensatorami są połączone za pomocą rezystorów zewnętrznych, które pełnią rolę integratorów oraz realizują sprzężenie zwrotne pomiędzy poszczególnymi kaskadami. Taka budowa pozwala na realizację filtra szerokopasmowego, jak również dolnoprzepustowego. W celu uzyskania jak największego pasma węzeł filtra wysokoprzepustowego (HP) nie jest dostępny. Dodatkowo w układzie zastosowano 5 k Ω rezystor, połączony z wejściem odwracającym ostatniego wzmacniacza w celu zmniejszenia wpływu pojemności pasywnych, które mogłyby znacznie pogorszyć dokładność filtra.

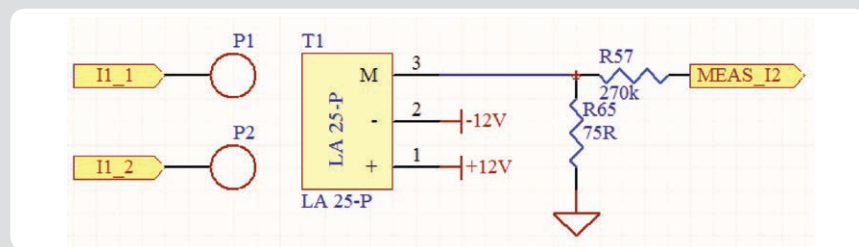
W celu zaprojektowania filtra dolnoprzepustowego wykorzystano oprogramowanie o nazwie Maxim's Filter Design Software, przygotowane dla układów filtrów analogowych firmy Maxim. Program automatycznie dobiera wartości rezystorów zewnętrznych w zależności od ustawionego typu filtra oraz



Rys. 13. Schemat blokowy karty wejść analogowych



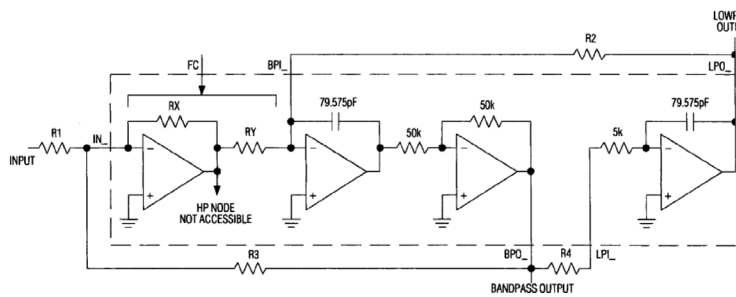
Rys. 14. Schemat toru napięciowego karty wejść analogowych



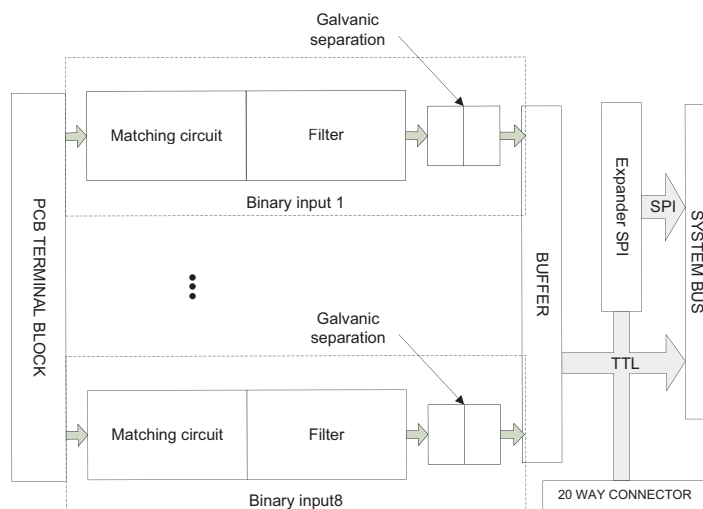
Rys. 15. Schemat toru prądowego karty wejść analogowych

zdefiniowanych podstawowych parametrów filtra. W celu doboru optymalnego filtra dolnoprzepustowego, o dość stromej charakterystyce amplitudowo-częstotliwościowej, został wybrany filtr czwartego rzędu, zrealizowany na podstawie dwóch sekcji połączonych kaskadowo. Częstotliwość odcięcia dla obu sekcji została przyjęta na poziomie 1,995 kHz. Wartość ta pozwala odstroić sygnał pomiarowy od różnego rodzaju zakłóceń oraz zapewnić bezbłędną dyskretyzację sygnału przez przetwornik A/C z częstotliwością powyżej 4 kHz. Ważnym elementem umożliwiającym zaprojektowanie filtra jest dobroć Q, którą definiuje się jako stosunek częstotliwości do szerokości pasma. Dla sekcji pierwszej wartość dobroci została przyjęta na poziomie 0,548, natomiast dla sekcji drugiej dobroć filtra stanowi 1,197. Łączna wartość Q dla zaprojektowanego filtra wynosi 0,655. Wzmocnienie przy częstotliwości odcięcia jest na poziomie -3,652 dB (656,7 mV/V).

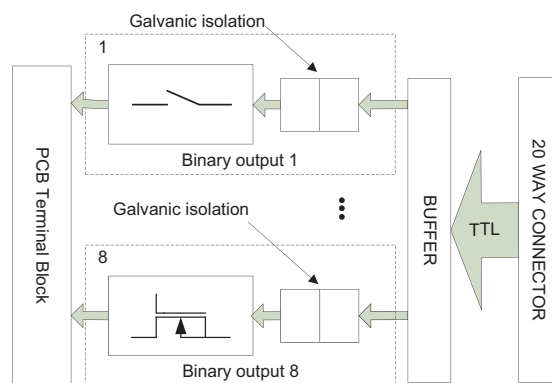
Drugim elementem umożliwiającym poprawną współpracę urządzenia BICON z innymi obiektami na stacji elektroenergetycznej jest moduł wejść i wyjść dwustanowych. Moduł ten składa się oddzielnie z karty wejść dwustanowych i karty wyjść dwustanowych, współpracujących ze sobą za pośrednictwem wewnętrznej magistrali danych. Obie karty tworzą integralny moduł wejścia/wyjścia urządzenia zabezpieczeniowego, komunikujący się przez jedną szynę danych z jednostką centralną. Karta wejść dwustanowych z punktu widzenia elektrycznego ma analogiczną budowę jak karta zastosowana w urządzeniu BICONIC. Wszystkie sygnały cyfrowe podawane są na zaciski wejściowe złącza modułu. Podanie na dane wejście dwustanowe sygnału o wartości 220 V dc powoduje ustawienie wartości logicznej 1 na karcie, a następnie przesłanie do jednostki centralnej. W przypadku braku napięcia na zacisku wejścia dwustanowego



Rys. 16. Schemat pojedynczego filtra drugiego rzędu układu firmy Maxim



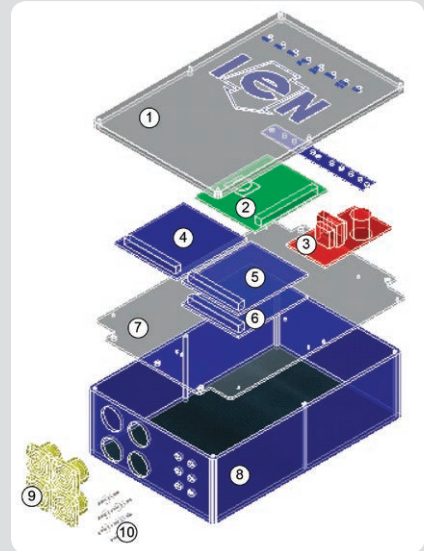
Rys. 17. Schemat blokowy układu wejść dwustanowych urządzenia BICON



Rys. 18. Schemat blokowy układu wyjść dwustanowych urządzenia BICON

pojawia się stan logiczny 0. Karta została wyposażona w osiem wejść cyfrowych, o separacji galwanicznej 5 kV. Dodatkowo zostały zastosowane układy zabezpieczające przed podaniem impulsu przepięciowego, który spowodowałby uszkodzenie wejściowych układów elektronicznych urządzenia zabezpieczającego. Na rys. 17 został przedstawiony schemat blokowy modułu wejść dwustanowych.

Karta wyjść dwustanowych ma budowę hybrydową, ponieważ została wyposażona w cztery wyjścia zaprojektowane na klasycznych przekaźnikach elektromechanicznych oraz cztery szybkie wyjścia zbudowane na przekaźnikach półprzewodnikowych – tranzystorach mocy typu MOSFET. Na rys. 18 przedstawiono schemat blokowy wspomnianej karty.



1. Górna pokrywa obudowy, 2. Moduł głównego procesora, 3. Zasilacz, 4. Karta wejść analogowych, 5. Karta wyjść dwustanowych, 6. Karta wejść dwustanowych, 7. Płyta montażowa, 8. Obudowa, element główny, 9. Złącza sygnałów elektrycznych (SPEAKON), 10. Adaptery ST/ST pozwalające na wprowadzenie sygnałów cyfrowych optycznych [2]

Rys. 19. Rozmieszczenie modułów i złącz urządzenia BICON

Na obudowę urządzenia BICON została zaadaptowana obudowa produkowana przez firmę ABTECH. Jest to obudowa aluminiowa charakteryzująca się wysokim stopniem ochrony przed promieniowaniem elektromagnetycznym oraz dużą odpornością na warunki atmosferyczne. Choć w porównaniu z obudową z tworzywa sztucznego jest rozwiązaniem droższym, to jednak w większości przypadków możliwa jest rezygnacja z dodatkowych, kosztownych działań mających na celu poprawę ekranowania.

Wzmocnienie ekranowania można osiągnąć poprzez zastosowanie przewodzących uszczelk pomiędzy pokrywą a częścią dolną obudowy. W tym celu wewnątrz obudowy i strefa uszczelnienia są nielakierowane, a tylko powierzchnie zewnętrzne pokrywane są lakierem proszkowym, chroniącym przed korozją. Uszczelka silikonowa pokryta warstwą miedzi i srebra tworzy połączenie przewodzące pomiędzy elementami obudowy. Moduły i złączki mogą być na dużej powierzchni połączone z masą obudowy na wewnętrznych ściankach. Dodatkowo w pokrywie obudowy wykonano otwory umożliwiające wyprowadzenie diod sygnalizacyjnych LED na panel czołowy urządzenia. Na rys. 19 przedstawiono budowę urządzenia BICON oraz opis części składowych.

4. Wnioski

Celem projektu było opracowanie intranetowego urządzenia automatyki elektroenergetycznej nowej generacji, które wymieniałoby dane w sieci Ethernet/IP w protokole IEC 61850. W efekcie powstały dwa urządzenia prototypowe automatyki elektroenergetycznej nowej generacji, mające właściwości pozwalające na zastosowanie w układach automatyki nowego typu. Zastosowanie

w przyszłości urządzeń tej jakości pozwoli na uproszczenie okablowania stacyjnego, ujednoczenie dostępu do danych dostępnych w zainstalowanych urządzeniach mikroprocesorowych, tworzenie nowych układów automatyki na podstawie nowych rozwiązań technologicznych wykorzystujących wspomniane technologie (Ethernet/Intranet, GPS i zaawansowane protokoły w rodzaju IEC 61850) [3].

Bibliografia

1. Kowalik R., Sieci komputerowe jako podstawa funkcjonowania następnej generacji urządzeń automatyki elektroenergetycznej, projekt KBN nr 4T10B07122, Warszawa 2005.
2. Kowalik R., Januszewski M., Coordination of protections through

the exchange of binary signals between power system substations in the IEC61850 protocol, *Przegląd Elektrotechniczny* 2009, nr 6 (angielski), s. 195–201.

3. Kowalik R., Januszewski M., Gontarz K., raport z wykonania projektu nr 0492/R/T02/2007/03 pt. „Intranetowe urządzenie automatyki elektroenergetycznej nowej generacji”, Warszawa 2010.

Kamil Gontarz

mgr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: kamil.gontarz@ien.pw.edu.pl

Absolwent Wydziału Elektrycznego Politechniki Warszawskiej (2010). Obecnie jest doktorantem w Instytucie Elektroenergetyki macierzystej uczelni oraz pracuje w WCBKT SA. Jego główne zainteresowania zawodowe dotyczą mikroprocesorowych urządzeń automatyki elektroenergetycznej oraz lotniskowe systemy zasilania statków powietrznych.

Ryszard Kowalik

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: ryszard.kowalik@ien.pw.edu.pl

Od 1989 roku pracuje w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. Jest współautorem nowoczesnych laboratoriów zabezpieczeń cyfrowych oraz techniki mikroprocesorowej uruchomionych w Zakładzie Automatyki IEN. Jego zainteresowania zawodowe dotyczą urządzeń automatyki elektroenergetycznej, układów synchronizacji oraz systemów telekomunikacyjnych.

Désiré D. Rasolomampionona

dr hab. inż. prof. PW

Politechnika Warszawska

e-mail: desire.rasolomampionona@ien.pw.edu.pl

Od 1994 roku pracuje na Wydziale Elektrycznym Politechniki Warszawskiej w Instytucie Elektroenergetyki. Obecnie jest kierownikiem Zakładu Automatyki Elektroenergetycznej. Jego zainteresowania naukowe koncentrują się głównie wokół problemów dotyczących automatyki elektroenergetycznej, sterowania pracą systemu elektroenergetycznego oraz zastosowania telekomunikacji i nowoczesnych technik informatycznych w elektroenergetyce.

Marcin Januszewski

dr inż.

Politechnika Warszawska

e-mail: majanusz@ien.pw.edu.pl

Od 1995 roku pracuje w Instytucie Elektroenergetyki Politechniki Warszawskiej. W 2002 roku został adiunktem w Zakładzie Automatyki Elektroenergetycznej PW. Jego zainteresowania zawodowe dotyczą urządzeń automatyki elektroenergetycznej, układów zdalnego dostępu do zabezpieczeń oraz systemów telekomunikacyjnych.