

Wojciech MIELCZAREK
Politechnika Śląska, Instytut Informatyki

ZASILANIE MODUŁÓW KOMUNIKACYJNYCH W HIERARCHICZNEJ SIECI POLOWEJ^{*)}

Streszczenie. W artykule dokonano klasyfikacji rodzajów zasilania w rozproszonych systemach pomiarowo-kontrolnych oraz przedstawiono charakterystykę poszczególnych rozwiązań. Jako przykład rozważono zasilanie w hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI.

THE COMMUNICATION MODULES POWER SUPPLYING IN THE HIERARCHICAL INDUSTRIAL NETWORK

Summary. In the paper the fieldbus power supply systems were classified and characterized. As an example was discussed the power supply system of the hierarchical fieldbus controlled by SCPI commands.

1. Wprowadzenie

Zasilanie urządzeń w rozproszonych systemach pomiarowo-kontrolnych jest problemem nie mniej ważnym od transmisji danych i należy je rozwiązać już na etapie projektowania systemu. Pozostawienie problemu zasilania na etap budowy i uruchamiania systemu jest poważnym błędem, który może narazić na kłopoty związane z nadmiernymi stratami mocy, zakłóceniami, a nawet z bezpieczeństwem.

^{*)} Publikacja powstała w ramach projektu badawczego 302/T11/97/12 finansowanego z funduszu Komitetu Badań Naukowych

Właściwe zasilanie urządzeń wymaga zapewnienia [1,2]:

- odpowiedniego napięcia zasilania przy zmieniającym się obciążeniu,
- dużej sprawności układów zasilających w celu ograniczenia strat mocy,
- separacji galwanicznej ze względów bezpieczeństwa,
- poprawnego rozproszczenia w celu uniknięcia wrażliwych na zakłócenia pętli oraz sprzężeń na wspólnej impedancji,
- poprawnej inicjalizacji (reset) przy załączaniu napięcia zasilania,
- przetrzymania napięcia po zaniku zasilania w celu ochrony danych.

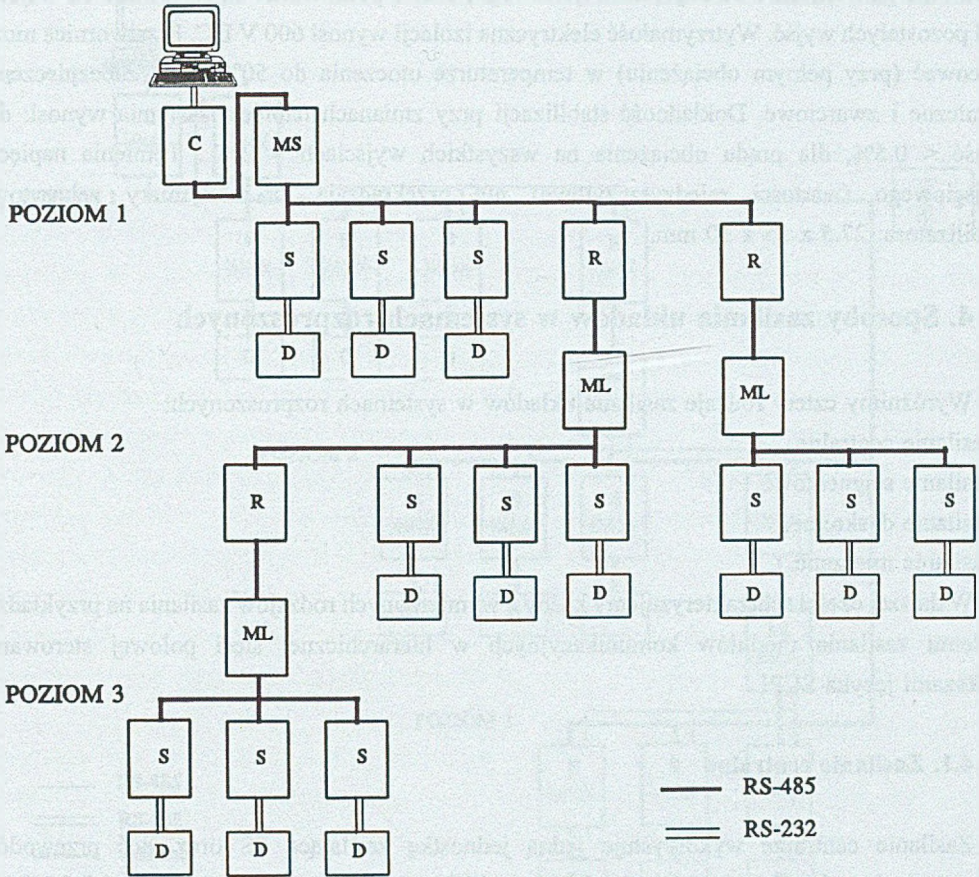
W niniejszej publikacji rozważa się zasilanie modułów komunikacyjnych w hierarchicznej, wielopoziomowej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI, której koncepcję, budowę i działanie przedstawiono w [4,5].

2. Organizacja sieci

Hierarchiczną sieć polową zaprojektowano jako system rozproszony złożony z wielu autonomicznych podsystemów połączonych w wielopoziomową strukturę (rys.1). Każdy podsystem posiada własny moduł zarządzający ML (master lokalny) i zespół modułów podrzędnych S (stacje slave), które umożliwiają podłączenie urządzeń pomiarowo-kontrolnych D. Master na najwyższym poziomie (tzw. master systemowy MS) ma dostęp do wszystkich modułów systemu, natomiast mastery lokalne tylko do modułów własnej podsieci. Mastery lokalne, oprócz sterowania własnym podsystemem, pełnią rolę węzłów komunikacyjnych przekazujących komunikaty do/z niższych poziomów hierarchii. Asortyment modułów komunikacyjnych w systemie uzupełniają: konwerter C interfejsów RS-232/RS-485 oraz regeneratory sygnału R pełniący funkcję ekspandera zasięgu. Łączem komunikacyjnym na wejściach sieci (miejsce podłączania urządzeń pomiarowo-kontrolnych i komputera centralnego) jest RS-232, natomiast wewnątrz (przesył pomiędzy modułami komunikacyjnymi) RS-485. Protokołem warstwy łącza sieci jest MODBUS, natomiast za przepływ komunikatów pomiędzy poziomami (routing) odpowiadają rozkazy języka SCPI.

3. Charakterystyka zasilania modułu komunikacyjnego

Wszystkie moduły komunikacyjne posiadają dwa porty szeregowy [2]. W przypadku modułów C i S są to łącza RS-232 i RS-485, w przypadku modułów MS, ML i R łącza RS-485. Obie części modułu są separowane galwanicznie: za pośrednictwem optoizolatorów w torze sygnałowym i transformatora impulsowego w torze zasilania.



Rys. 1. Hierarchiczna sieć polowa
 Fig. 1. The hierachical fieldbus

Podstawowym układem zasilającym moduł jest przetwornica DC-DC z izolacją galwaniczną, która zamienia stałe napięcie wejściowe z zakresu 9 do 30 V na dwa stabilizowane napięcia wyjściowe U_1 i U_2 o wartości 5 V każde. Masa napięcia U_1 jest wspólna z masą sygnału wejściowego, natomiast napięcie U_2 jest całkowicie odizolowane od wejścia i wyjścia U_1 . Obciążenie źródła napięcia wejściowego 24 V (standardowe napięcie w systemach przemysłowych) przez moduł komunikacyjny nie przekracza 60 mA.

Jako układ zasilający moduł komunikacyjny wykorzystano stabilizator impulsowy napięcia stałego SR-15 5.3 firmy IMCON-INTEC [7]. Jest to wysoko sprawna (75-85%) przetwornica DC-DC o mocy wyjściowej 15 W posiadająca trzy napięcia wyjściowe, z których główne nie jest

izolowane galwanicznie od napięcia wejściowego, a dwa pomocnicze są izolowane od wejścia i od pozostałych wyjść. Wytrzymałość elektryczna izolacji wynosi 600 V DC. Przetwornica może pracować (przy pełnym obciążeniu) w temperaturze otoczenia do 50°C i ma zabezpieczenia termiczne i zwarciovowe. Dokładność stabilizacji przy zmianach napięcia zasilania wynosi: dla wyjść < 0.5%, dla prądu obciążenia na wszystkich wyjściach < 2% . Tętnienia napięcia wyjściowego (wartości międzyszczytowe) nie przekraczają 2%. Wymiary gabarytowe stabilizatora: 27.5 x 55 x 30 mm.

4. Sposoby zasilania układów w systemach rozproszonych

Wyróżnimy cztery rodzaje zasilania układów w systemach rozproszonych:

- zasilanie centralne,
- zasilanie segmentowe,
- zasilanie dyskretne,
- zasilanie mieszane.

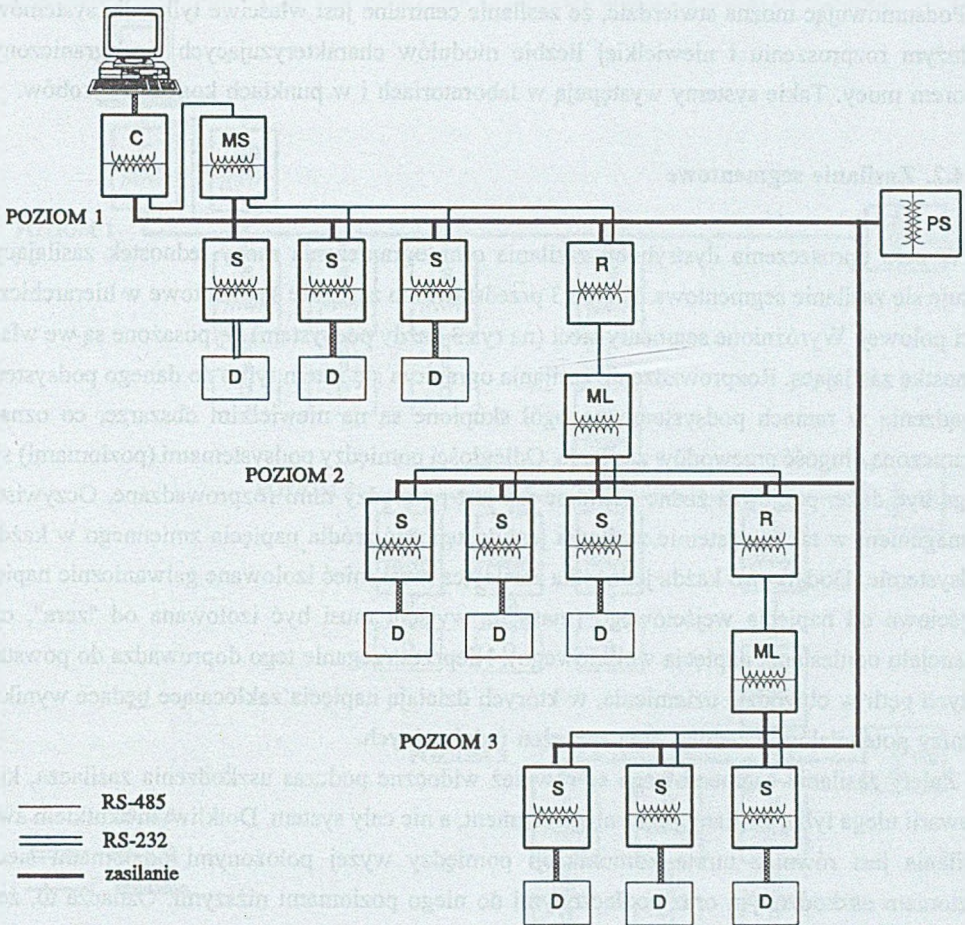
W dalszej części scharakteryzujemy każdy z wymienionych rodzajów zasilania na przykładzie systemu zasilania modułów komunikacyjnych w hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI.

4.1. Zasilanie centralne

Zasilanie centralne wykorzystuje jedną jednostkę zasilającą PS oraz sieć przewodów doprowadzających napięcie zasilania do wszystkich modułów w systemie. Jednostka PS jest zasilaczem, na którego wejście wprowadzane jest napięcie zmienne 220 V/50 Hz, i z którego wyjścia pobierane jest napięcie stałe 24 V. Na rys.2 przedstawiono zasilanie centralne w hierarchicznej sieci polowej. W każdym module komunikacyjnym oraz w jednostce zasilającej zaznaczono separację galwaniczną w torze zasilania poprzez umieszczenie symbolu transformatora.

Niewątpliwą zaletą zasilania centralnego jest wykorzystanie tylko jednego zasilacza, oczywistą wadą natomiast rozbudowana sieć przewodów rozprowadzających zasilanie, tym większa, im większe jest rozproszenie systemu. Nietrudno również zauważyć, że uszkodzenie zasilacza powoduje awarię całego systemu.

Zasilanie centralne nie jest odpowiednie dla systemów o dużej liczbie modułów rozłożonych na dużej przestrzeni, chyba że jest konieczne ze względu na brak dostępu do lokalnych źródeł



Rys. 2. Zasilanie centralne

Fig. 2. The central power supply type

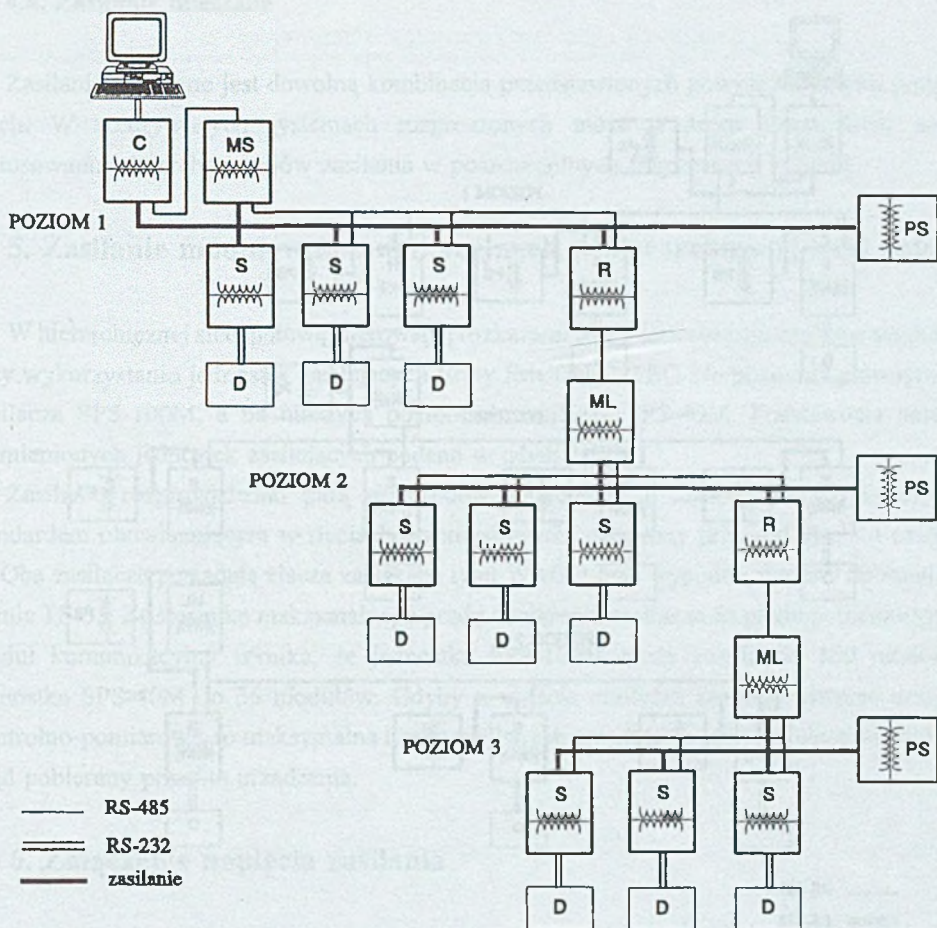
zasilania. Dłgie przewody zasilania powodują znaczące spadki napięcia na swojej rezystancji (zależne oczywiście od obciążenia wnoszonego przez moduły), a ponadto posiadają znaczną indukcyjność (przy częstotliwości 11 kHz prosty drut o średnicy 0.6 mm znajdujący się około 25 mm nad płaszczyzną uziemienia ma większą reaktancję indukcyjną niż rezystancję [6]). Przez długie przewody zasilania będą się przedostawać do systemu zakłócenia, które nie zawsze uda się skutecznie odfiltrować w module. Przy dużej liczbie modułów wzrasta obciążenie zasilacza, co zmusza do zastosowania jednostki o większej mocy, pracującej w bardziej krytycznych warunkach, a więc bardziej narażonej na awarie.

Podsumowując można stwierdzić, że zasilanie centralne jest właściwe tylko dla systemów o niedużym rozproszeniu i niewielkiej liczbie modułów charakteryzujących się ograniczonym poborem mocy. Takie systemy występują w laboratoriach i w punktach kontroli wyrobów.

4.2. Zasilanie segmentowe

W celu uproszczenia dystrybucji zasilania oraz ograniczenia mocy jednostek zasilających stosuje się zasilanie segmentowe. Na rys.3 przedstawiono zasilanie segmentowe w hierarchicznej sieci polowej. Wyróżnione segmenty sieci (na rys.3 każdy podsystem) wyposażone są we własną jednostkę zasilającą. Rozprowadzenie zasilania ogranicza się zatem tylko do danego podsystemu. Urządzenia w ramach podsystemu na ogół skupione są na niewielkim obszarze, co oznacza ograniczoną długość przewodów zasilania. Odległości pomiędzy podsystemami (poziomami) sieci mogą być duże, ponieważ żadne zasilanie nie jest pomiędzy nimi rozprowadzane. Oczywistym wymaganiam w takim systemie zasilania jest dostępność źródła napięcia zmiennego w każdym podsystemie. Dodatkowo każda jednostka zasilająca musi mieć izolowane galwanicznie napięcie wyjściowe od napięcia wejściowego (masa na wyjściu musi być izolowana od "zera", czyli potencjału odniesienia napięcia wejściowego). Nieprzestrzeganie tego doprowadza do powstania dużych pętli w obwodzie uziemienia, w których działają napięcia zakłócające będące wynikiem różnicy potencjałów uziemień oraz sprzężeń indukcyjnych.

Zalety zasilania segmentowego są również widoczne podczas uszkodzenia zasilacza, kiedy to awarii ulega tylko zasilany przez niego segment, a nie cały system. Dotkliwym skutkiem awarii zasilania jest również utrata komunikacji pomiędzy wyżej położonymi poziomami sieci a poziomem uszkodzonym oraz podłączonymi do niego poziomami niższymi. Oznacza to, że im wyżej położony jest zasilacz w hierarchicznej strukturze sieci, tym poważniejsza jest konsekwencja jego uszkodzenia. Dlatego jednostki zasilające pracujące na wyższych poziomach powinny mieć większy zapas mocy, aby pracując poniżej swoich możliwości, mniej się nagrzewały i były bardziej niezawodne.

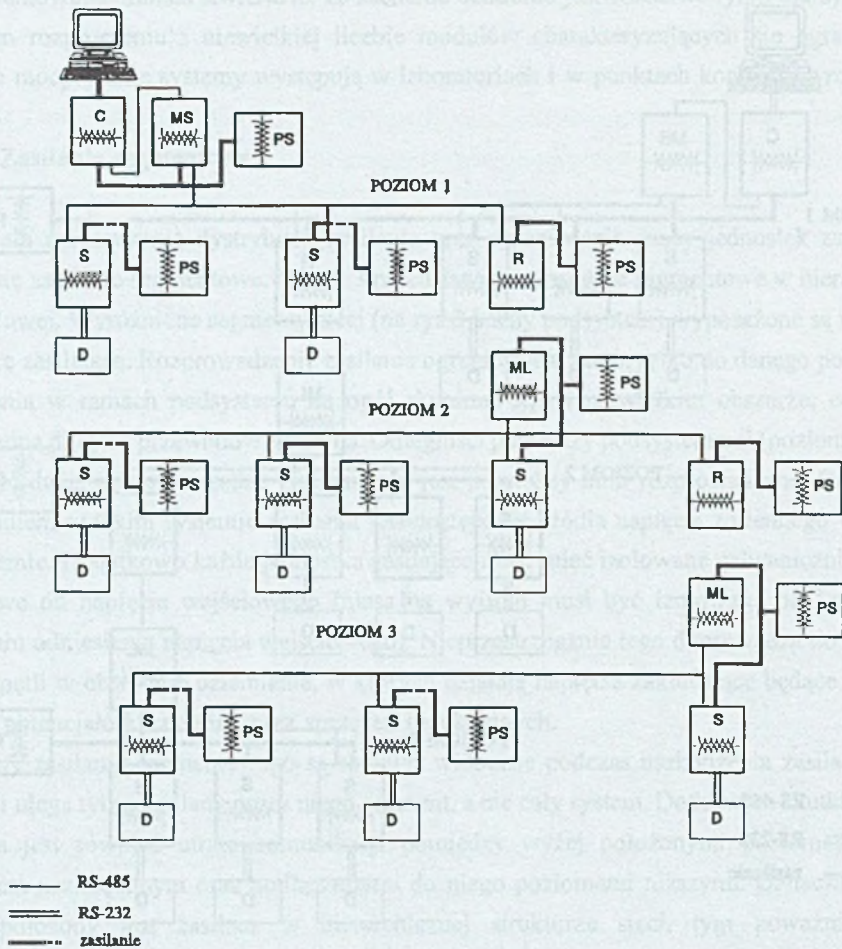


Rys. 3. Zasilanie segmentowe
Fig.3. The segment power supply type

4.3. Zasilanie dyskretne

Zasilanie dyskretne polega na indywidualnym zasilaniu urządzeń w systemie i jest przeciwieństwem zasilania centralnego. Na rys.4 przedstawiono przykład zasilania dyskretnego w hierarchicznej sieci polowej.

Każde z urządzeń lub grupa urządzeń znajdujących się w bliskim sąsiedztwie posiada własną jednostkę zasilającą. Przewody zasilające zredukowane są do minimum. Nieduża jest również obciążalność zasilaczy, ponieważ zasilają niewielką liczbę (w szczególności jedno) urządzeń.



Rys. 4. Zasilanie dyskretne

Fig. 4. The discrete power supply type

Awaria zasilacza wyłącza tylko zasilane przez niego moduły. W sieci hierarchicznej uszkodzenie zasilania mastera lokalnego uniemożliwia sterowanie danym podsystemem oraz przepływ komunikatów do poziomów położonych poniżej. Wymianę komunikatów pomiędzy poziomami zablokuje również awaria zasilania regeneratora sygnału.

Zasilanie dyskretne stosuje się w systemach o małej liczbie urządzeń rozmieszczonych na dużej przestrzeni, w sytuacji łatwej dostępności do źródła napięcia zmiennego. Oczywistą zaletą jest tu ograniczenie kosztów rozprowadzenia zasilania.

4.4. Zasilanie mieszane

Zasilanie mieszane jest dowolną kombinacją przedstawionych powyżej rodzajów podstawowych. W rzeczywistych systemach rozproszonych może wystąpić uzasadniona potrzeba zastosowania różnych rodzajów zasilania w poszczególnych fragmentach systemu.

5. Zasilanie modułów komunikacyjnych w hierarchicznej sieci polowej

W hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami SCPI zastosowano zasilanie segmentowe przy wykorzystaniu jednostek zasilających firmy IMCON-INTEC. Na poziomie głównym użyto zasilacza SPS-100M, a na niższych poziomach zasilaczy SPS-40M. Podstawowe parametry wymienionych jednostek zasilających podano w tabeli 1 [7].

Zasilanie rozprowadzono parą przewodów o średnicy 1 mm i kolorach zgodnych ze standardem obowiązującym w sieciach przemysłowych: czerwony przewód dla '+' i czarny dla '-'. Oba zasilacze posiadają złącza zaciskane typu WAGO oraz wygodne zaczepy do montażu na szynie TS-35. Ze stosunku maksymalnego prądu obciążenia zasilacza do prądu pobieranego przez moduł komunikacyjny wynika, że jednostka SPS-100M może zasilić do 100 modułów, a jednostka SPS-40M do 36 modułów. Gdyby z wyjścia zasilacza zasilano również urządzenia kontrolno-pomiarowe, to maksymalna liczba zasilanych urządzeń byłaby mniejsza ze względu na prąd pobierany przez te urządzenia.

6. Załączenie napięcia zasilania

Poprawne działanie układu zasilającego urządzenia mikroprocesorowe wymaga nie tylko zapewnienia właściwego napięcia w stanach ustalonych, ale również odpowiedniego kształtu i szybkości narastania napięcia przy załączeniu zasilania. Bezpośrednio po załączeniu zasilania z wyjścia zasilacza pobierany jest duży prąd konieczny do naładowania pojemności wejściowych urządzeń. Prąd ten kilkakrotnie przewyższa wartość w stanie ustalonym, ale pobierany jest przez krótki czas i maleje w miarę ładowania się pojemności. Zasilacz, mimo ograniczenia prądu w stanie ustalonym, musi wytrzymać takie chwilowe przeciążenie wyjścia.

W celu zbadania zachowania systemu bezpośrednio po załączeniu napięcia zasilania skonfigurowano jednopoziomowy system złożony z 10 modułów komunikacyjnych zasilanych z jednostek o różnej mocy: najpierw z zasilacza SPS-40M, potem z zasilacza SPS-100M.

Tabela 1

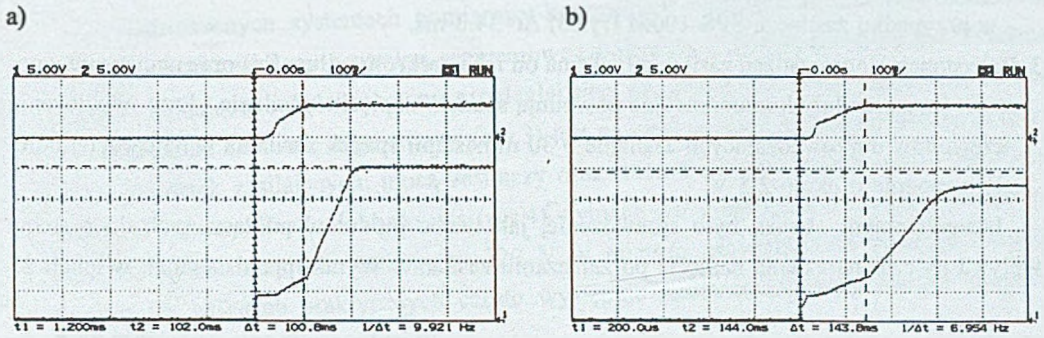
Podstawowe parametry zasilaczy impulsowych

	SPS-40M	SPS-100M
Napięcie zasilania	185 - 260 V AC	187 - 242 V AC
Napięcie wyjściowe/obciążalność	24 V/0.1-1.8 A	24 V/0-5 A
Temperatura otoczenia (przy pełnym obciążeniu)	0 - +50°C	0 - +50°C
Tętnienia napięcia wyjściowego (wartość międzyszczytowa)	< 2%	< 2%
Wytrzymałość elektryczna izolacji wejście-wyjście	5300 V DC	5300 V DC
Sprawność	75 - 85%	75 - 85%
Zabezpieczenie zwarciovie	tak	tak
Zabezpieczenie nadnapięciowe	tak	tak
Moc wyjściowa	35 - 40 W	100 - 120 W
Dokładność stabilizacji przy zamianach:		
- napięcia zasilania	< 0.5%	< 0.5%
- prądu obciążenia	< 1%	< 0.5%

Zmieniano również długość doprowadzeń zasilania (para przewodów o przekroju 0.4 mm^2) z 5 m na 35 m. Wyniki pomiarów przedstawiono na rysunkach 5 i 6. Przebiegi oznaczone numerem 1 pokazują zmianę napięcia na wejściu przetwornicy DC-DC zasilającej moduł, a przebiegi oznaczone numerem 2 zmianę napięcia na głównym wyjściu przetwornicy. Pomiary wykonano oscyloskopem HP 54601A, a obrazy przesłano do komputera PC łączem RS-232 pod kontrolą programu HP 34810B BenchLink Scope.

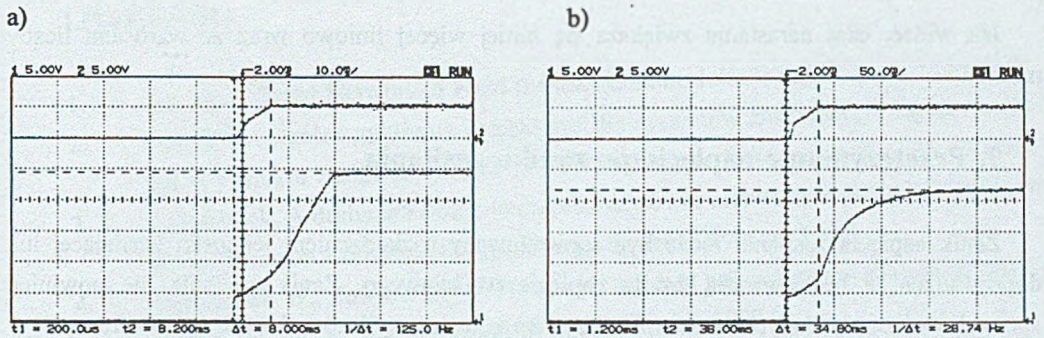
Wnioski z przeprowadzonych badań są następujące:

1. Zastosowana do zasilania modułu przetwornica SR-15 5.3 zapewnia wartość ustaloną napięcia na wyjściu już po osiągnięciu około 9 V na wejściu.



Rys.5. Załączenie zasilania przy użyciu zasilacza SPS-40M. Długość doprowadzeń: 5 m (a), 35 m (b)

Fig.5. System power on with SPS-40M power supply. Leads length: 5 m (a), 35 m (b)



Rys.6. Załączenie zasilania przy użyciu zasilacza SPS-100M. Długość doprowadzeń: 5 m (a), 35 m (b)

Fig.6. System power on with SPS-100M power supply. Leads length: 5 m (a), 35 m (b)

2. Duży wpływ na szybkość narastania napięcia zasilania ma moc jednostki zasilającej:
 - w przypadku zasilacza SPS-40M (rys.5) $\Delta t=143.8$ ms,
 - w przypadku zasilacza SPS-100M (rys.6) $\Delta t=34.8$ ms.
3. Rezystancja doprowadzeń zasilania (zależna od ich przekroju i długości) oraz obciążenie wnoszone przez moduły komunikacyjne powodują spadek napięcia zasilania. Przy wydłużeniu przewodów doprowadzających zasilanie o 30 m nastąpił spadek zasilania w najbardziej odległym module o około 2.5 V.

Uzupełnieniem badań było sprawdzenie, jak liczba modułów podłączonych do systemu wpływa na czas narastania napięcia po załączeniu zasilania. Wyniki przedstawiono w tabeli 2.

Tabela 2

Czas narastania napięcia zasilającego w zależności od liczby modułów

Liczba modułów	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Czas narastania napięcia w [ms]	11	21	27	37	49	65	72	81	87	112

Jak widać, czas narastania zwiększa się mniej więcej liniowo wraz ze wzrostem liczby modułów.

7. Przetrzymanie napięcia po zaniku zasilania

Zanik napięcia zasilania może być spowodowany uszkodzeniem jednostki zasilającej lub doprowadzeń, a także awarią źródła napięcia wejściowego. Zanik zasilania nie powinien spowodować utraty danych w modułach systemu, w szczególności danych zgromadzonych w masterach lokalnych oraz modułach slave. Ważne dane przechowywane są w podtrzymywanej bateryjnie pamięci RAM. W celu kontroli poprawności przechowania danych podczas zaniku zasilania należy dane zabezpieczyć słowem kontrolnym. Do wyliczenia słowa kontrolnego oraz wykonania operacji bezpiecznego "zamknięcia" modułu konieczny jest czas rzędu kilku milisekund. Czas ten zapewnia układ kontroli zasilania modułu, który odpowiednio wcześniej wykrywa zmianę w napięciu zasilania i wystawia przerwanie o najwyższym priorytecie informujące o błędzie zasilania. Od tej chwili do momentu spadku zasilania poniżej wartości minimalnej (wartość gwarantująca jeszcze poprawne działanie układu) upływa czas około 5 ms wystarczający do wykonania wszystkich operacji zabezpieczających dane.

8. Podsumowanie

W rozproszonych systemach pomiarowo-kontrolnych wyróżnić można trzy podstawowe rodzaje zasilania: zasilanie centralne, segmentowe i dyskretne. Zasilanie centralne (rys.2) wymaga jednostki zasilającej o dużej mocy oraz rozległej sieci doprowadzeń, co jest kosztowne i podatne na uszkodzenia. Zasilanie segmentowe (rys.3) jest na ogół rozsądnym kompromisem pomiędzy liczbą jednostek zasilających, mocą zasilaczy oraz rozmiarem sieci doprowadzeń zasilania do modułów systemu. Zasilanie dyskretne (rys.4) wymaga wielu zasilaczy o nie dużej jednak mocy oraz dostępności napięcia zmiennego 220 V w miejscu zainstalowania każdego zasilanego modułu. W układach praktycznych często występuje zasilanie mieszane będące kombinacją podstawowych rodzajów zasilania.

Właściwe zasilanie modułów w sytemach rozproszonych wymaga nie tylko odpowiedniego napięcia zasilania w stanach ustalonych, ale i odpowiedniej szybkości narastania napięcia przy załączeniu, co jest istotne dla poprawnego zerowania (resetu) modułów. Niemniej istotne może być przetrzymanie napięcia przy zaniku zasilania umożliwiające ochronę zgromadzonych danych.

LITERATURA

1. Jordan J.: Serial Networked Field Instrumentation. John Wiley & Sons, New York 1995.
2. Siurek R.: Ogólne założenia projektowe dla systemów zasilających. Opracowanie w ramach Projektu Badawczego 302/T11/97/12. Instytut Informatyki Pol. Śl., Gliwice 1997.
3. Powerbook, A designer's guide to distributed power architecture using DC/DC power modules. Ericsson Components AB, Energy System Division, 1996.
4. Mielczarek W., Pawłowski R.: Hierarchiczna sieć polowa sterowana rozkazami języka SCPI. ZN Pol. Śl. ser. Informatyka z. 33, Gliwice 1997.
5. Mielczarek W.: Stacja slave hierarchicznej sieci polowej sterowanej rozkazami języka SCPI. ZN Pol. Śl. ser. Informatyka z. 33, Gliwice 1997.
6. Ott W: Metody redukcji zakłóceń i szumów w układach elektronicznych. WNT, Warszawa 1979.
7. Materiały katalogowe zasilaczy IMCON-INTEC s.c. Układy i systemy zasilające, Gliwice.

Recenzent: Dr inż. Włodzimierz Boron

Wpłynęło do Redakcji 8 lipca 1998 r.

Abstract

In distributed data acquisition systems three basic power supply schemes are met: central power supplying, segment power supplying and discrete power supplying. The central power supplying (fig.2) needs a high power supply unit and costly, distributed network of power leads very sensitive to noise and damage. The segment power supplying (fig.3) seems to be a good compromise between number of the power supply units, maximum power of the units and power leads network size. The discrete power supply (fig.4) uses many low power supply units and needs access to 220 V AC in the nearness of each module. In systems met in practice, usually a combination of the basic power supply schemes is met (we called it 'mixed power supply system').

The proper power supplying in a data acquisition system needs not only the right voltage in steady state, but the high enough voltage rising during power up, what is important for good reset. Not less important is holding the supply voltage for a few ms after power fail, what makes possible for a microprocessor to perform a data protection.