

Różnicowa sonda oscyloskopowa 20MHz



W ostatnich latach ceny oscyloskopów spadły do tego poziomu, że ich zakup jest już w zasięgu przeciętnego amatora. 1000zł wystarczy, aby stać się posiadaczem cyfrowego dwukanałowego oscyloskopu o paśmie 50MHz. Około 1800zł trzeba dać za czterokanałowy. Ceny są stosunkowo, a nawet zaskakująco niskie, biorąc pod uwagę stopień skomplikowania i możliwości. Niestety, nie można tego powiedzieć o sondach różnicowych, które kosztują od 800zł do 8000zł, a nawet więcej, co przekracza koszt tańszego oscyloskopu. Biorąc pod uwagę, że w niektórych przypadkach takich sond potrzeba kilka, okazują się one zupełnie nieosiągalne dla amatorów czy nawet małych firm. Jest jednak dobra wiadomość: jeżeli pasmo sondy 20MHz będzie wystarczające, można ją wykonać samodzielnie za 100...150zł. Ten projekt jest tego dowodem.

Opisywana sonda umożliwia badanie sygnałów różnicowych do $\pm 450V$ wartości szczytowej, tłumi sygnał w stosunku 100:1 lub 10:1, zależnie od ustawienia przełącznika wzmocnienia. Sondy różnicowe są bardzo wygodne, a czasem wręcz niezbędne przy pracach z urządzeniami zasilanymi napięciem sieci energetycznej, tym bardziej że w większości oscyloskopów przewód uziemiający PE jest połączony z masą oscyloskopu. Przydatne są także do kontrolowania magistrali różnicowej takiej jak na przykład RS485/422.

Opis układu

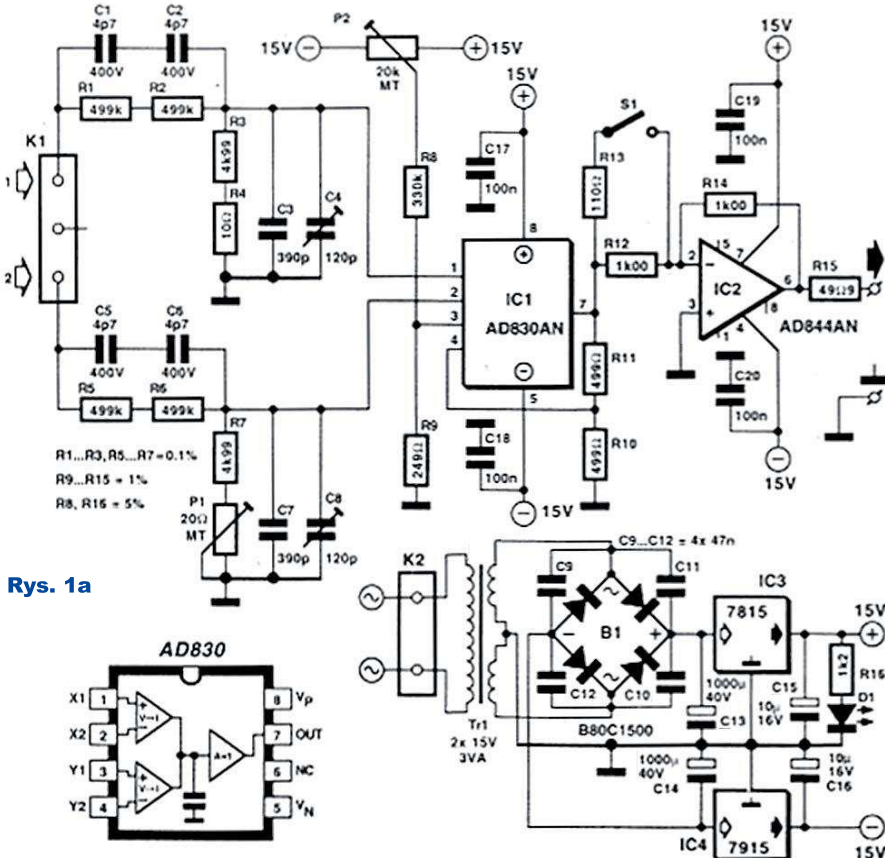
Sonda została zbudowana na podstawie znalezionych w Internecie skanów artykułu, sądząc ze sposobu narysowania schematu prawdopodobnie z „Elektora”. Ten oryginalny schemat jest pokazany na rysunku 1a.

Zmodyfikowany został układ zasilania oraz projekt płytki drukowanej,

Charakterystyka:	
Dzielnik:	1:100 / 1:10
Rezystancja wejściowa:	2M Ω m
Pojemność wejściowa:	2,5pF
Napięcie różnicowe:	450V
Napięcie wspólne:	700 (450V *)
Pasmo:	20MHz (1:100) 15MHz (1:10)
CMRR:	80dB (do 1kHz) 60dB (do 1MHz) 40dB (do 10MHz)
Dokładność:	0,6-4,2%

która została dostosowana do obudowy KM-80. Schemat zmodyfikowanej konstrukcji widoczny jest na rysunku 1b.

Najważniejszym elementem sondy jest szerokopasmowy wzmacniacz operacyjny U2. Wzmacniacz ten zawiera dwa wzmacniacze operacyjne i bufor. Rezystory R15, R16 ustalają wzmocnienie 2V/V. P1 wraz z R8 i R14 umożliwiają kompensację napięcia nierównoważenia wzmacniacza. Rezystancja R14 jest w przybliżeniu równa rezystancji równoległe połączonych R15, R16, co niweluje napięcie nierównoważenia wzmacniacza. Wartości R15, R16 nie są krytyczne, ale mają wpływ na pasmo przenoszenia, pobór prądu i wzmocnienie, dlatego nie należy zanadto ich zmieniać wartości.

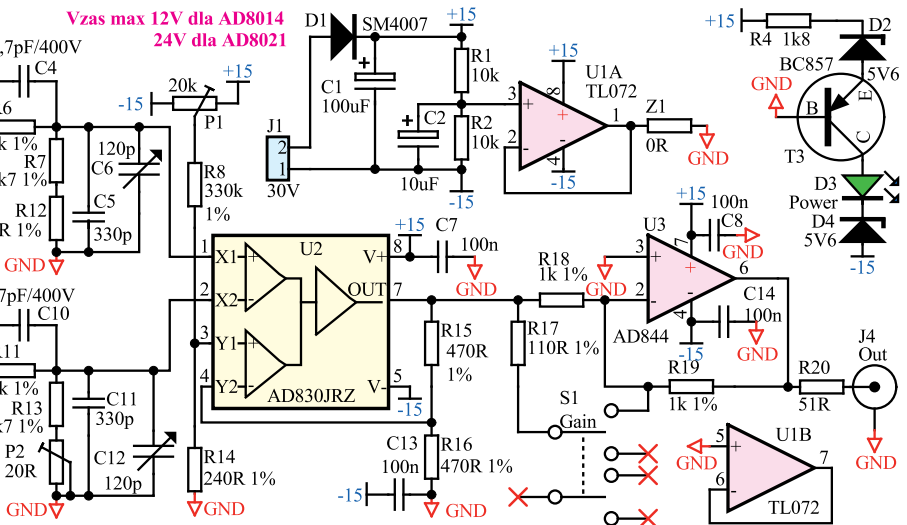


Ze względu na wymaganą precyzję zaleca się rezystory 0,1%. Godząc się na mniejszą dokładność, można zastosować rezystory 1%. W żadnym wypadku nie powinny to być popularne 5% ze względu na ich słabą stabilność temperaturową, co może spowodować niemożność skalibrowania sondy lub szybkie jej rozkalibrowanie.

Badany sygnał jest tłumiony w dzielniku złożonym z R5, R6, R7, R11 oraz R10, R11, R13, P2 wnoszącym tłumienie 201:1. Jeśli tłumienie miało być równe dokładnie 200, należałoby zastosować inne wartości rezystorów. Przy aktualnych wartościach sumaryczne tłumienie odbiega od założonego o 0,5% i niecelowe wydaje się dążenie do doskonałości.

Dlaczego R5, R6 i odpowiadające im R10, R11 są połączone szeregowo? Można byłoby zastosować jeden rezystor 1MΩ i nieznacznie zwiększyć R7 i R13. Można, ale zostałaby przekroczona napięcie przebicia standardowego rezystora. Należałoby zastosować rezystor wysokonapięciowy, który jest drogi i byłyby kłopoty z zakupem takiego rezystora o tolerancji 0,1% czy nawet 1%. Połączenie rezystorów w szereg pozwala rozwiązać ten problem stosunkowo tanimi rezystorami precyzyjnymi.

Kondensatory włączone równolegle do rezystorów dzielnika zapewniają kompensację częstotliwościową sondy. Dokładne skompensowanie umożliwiają trymery C6 i C12, natomiast P2 umożliwia zrównoważenie sondy. Wszystkie rezystory w obwodach tłumików i rezystorach sprzężenia zwrotnego wzmacniaczy operacyjnych powinny mieć tolerancję 0,1%, ostatecznie 1%, aby parametry sondy nie zmieniały się w czasie np. pod wpływem temperatury. Przed chwilą napisano, że tłumienie



Rys. 1b

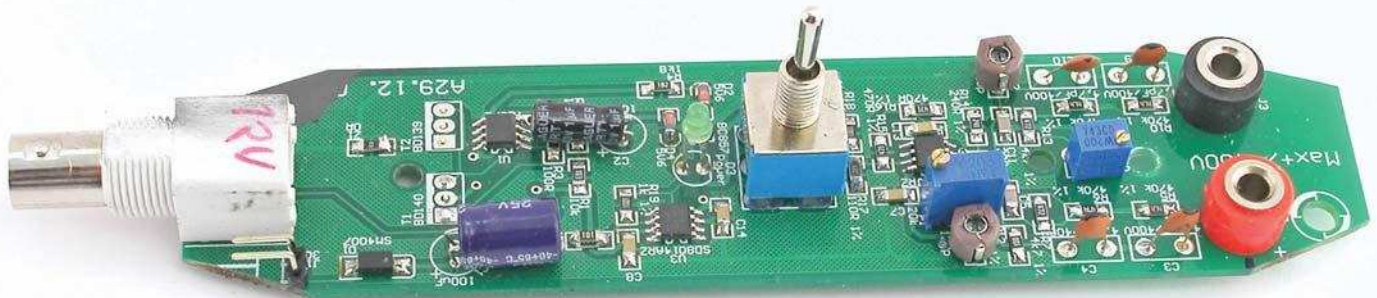
dzielnika wynosi około 200:1, a we wstępie artykułu, że sonda tłumia sygnał 100:1 i 10:1. Nie trzeba się niepokoić, nigdzie nie ma błędu, ponieważ wzmacnienie U2 ustawione jest na 2V/V, co sumarycznie daje tłumienie 100:1. Sygnał z U2 jest buforowany w U3, którego wzmacnienie może przyjąć dwie wartości 1 lub 10. To daje, razem z tłumieniem dzielników wejściowych i wzmacnieniem U2, sumaryczne tłumienie 100:1 i 10:1.

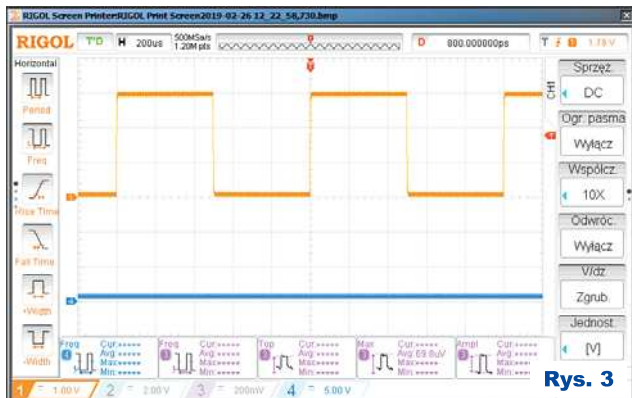
Można się zastanowić, czy przy pracy z podziałem 10:1 nie lepiej byłoby zmniejszyć stopień podziału tłumików na wejściu U2, zamiast wzmacniać tłumiony sygnał w U3? Praca z większym napięciem roboczym to mniejsze szumy. Niestety, mógłby wtedy zadziałać wewnętrzny układ ograniczający w U2 i pogorszyć tłumienie sygnałów wspólnych. Innym problemem byłaby kompensacja częstotliwościowa, którą należałoby przeprowadzić osobno dla każdego zakresu tłumienia.

Drobną niedogodnością wynikającą ze stosowania U3 jest odwracanie przebiegu wejściowego. Problem rozwiązuje możliwość zanegowania sygnału w oscyloskopie. Można też zamienić między sobą oznaczenia zacisków wejściowych sondy.

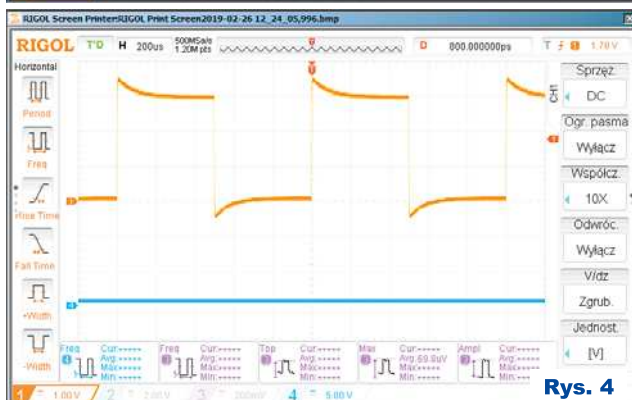
R20 dopasowuje impedancję wyjściową wzmacniacza do impedancji przewodu koncentrycznego. Można byłoby zamiast jednego rezystora zastosować dwa 100Ω połączone równolegle, ale nie ma to większego sensu, ponieważ standardowe o tolerancji 5% mogłyby przyjąć wartości z zakresu 47,5...52,5Ω. Jeśli z jakichś powodów rezystancja ta ma być bardzo bliska 50Ω, to lepiej zastosować 1% rezystor 49,9Ω z szeregu E96. Sonda jest zasilana napięciem ±15V uzyskanym z asymetrycznego napięcia 30V. Podział napięcia zapewnia układ U1A, którego wyjście jest masą pozorną układu. Dioda D1 chroni sondę przed uszkodzeniem w przypadku zamiany biegunowości zasilania. R4, D2, T3, D3, D4 tworzą obwód wskaźnika napięcia zasilającego.

Uwagi dodatkowe: 0,1-procentowa dokładność R5, R6, R7, R11 i R10, R11, R13 oraz 1-procentowa dokładność R15, R16 pozwalają uzyskać całkowitą 0,6% przy tłumieniu 100:1 i 1,6% przy 10:1. Rezystory o tolerancji 1% w obwodzie tłumika znacząco zmniejszą dokładność i tłumienie sygnałów wspólnych!

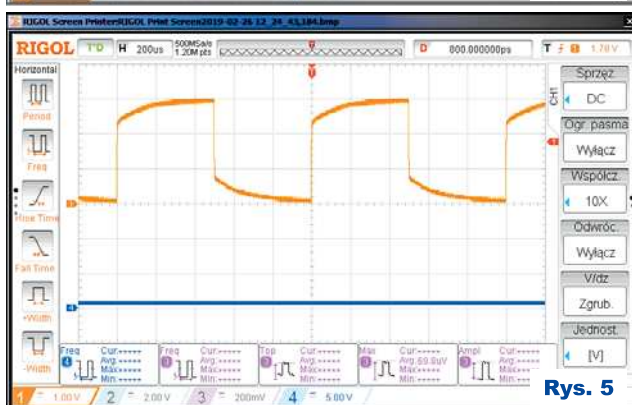




Rys. 3



Rys. 4

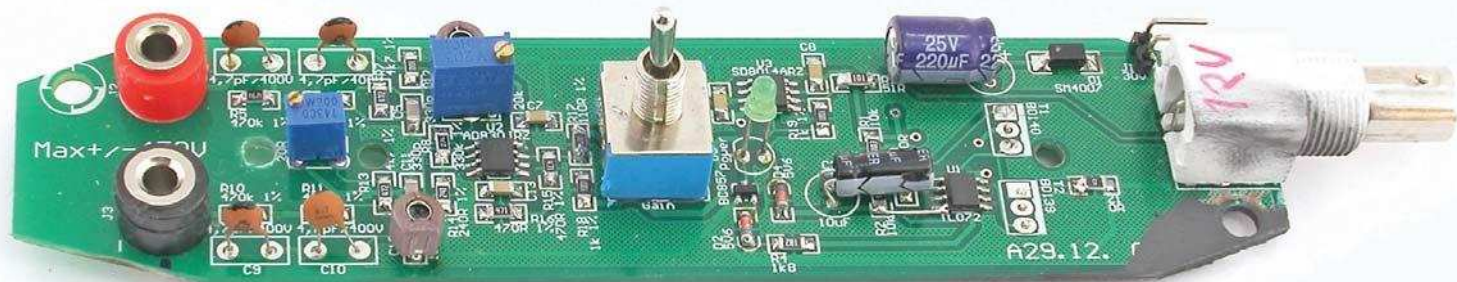


Rys. 5

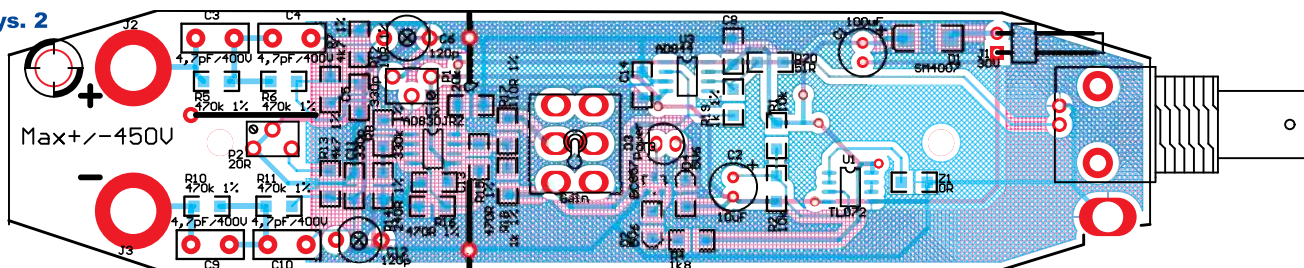
Montaż i uruchomienie

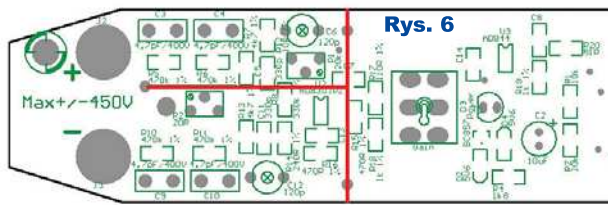
Montaż układu na płycie, pokazanej na **rysunku 2**, należy rozpocząć od elementów R, C oraz U1 i pozostałych elementów, jak złącza. Na tym wstępnym etapie NIE należy montować kluczowych układów scalonych U2 i U3. Po zamontowaniu wymienionych na początku elementów należy podłączyć zasilanie ok. 30V i zweryfikować obecność napięć $\pm 15V$ na wyprowadzeniach U2 i U3. Dopiero jeśli napięcia są poprawne, można wlutować U2, oczywiście przy wyłączonym napięciu zasilającym. Następnie należy podać na wejście sondy sygnał z generatora o częstotliwości kilku kHz o amplitudzie 10V. Na wyjściu wyprowadzeniu 7 U2 powinien pojawić się przebieg o amplitudzie 100mV. Jeśli wzmacniacz pracuje poprawnie, można zamontować U3 i ponowić test. Przy rozwartym S1 amplituda sygnału na J4 wynosi 100mV, po zwarceniu S1: 1V.

Po wstępnym teście sondę należy skalibrować. Kalibrację należy przeprowadzić po około 15-minutowym wygrzaniu sondy. Najpierw zmieramy wejścia sondy do masy. Przypominam, że masą „użytkową” jest masa sondy, a nie ujemny biegun zasilacza. Przy ustawionym tłumieniu 10:1 potencjometrem P1 należy ustawić zerowe napięcie stałe na wyjściu sondy. Regulacja przy ustawionym tłumieniu 10:1 (praca ze wzmacnieniem 10 U3) jest konieczna, ponieważ napięcie niezrównoważenia U3 jest wtedy bardziej widoczne niż przy wzmacnieniu 1 U3 (tłumienie 100:1). Następnie należy podać stałe lub wolno zmieniające się (0,1..1Hz) napięcie 10...20V na oba wejścia sondy. Regulując P2, należy doprowadzić do minimalnego napięcia na wyjściu sondy. Na koniec, na jedno z wejść należy podać sygnał prostokątny ok. 1kHz 10...20V. W tym czasie drugie wejście należy zewrzeć z masą. Trymerem należy skompensować tłumik tak, aby uzyskać jak najdokładniejszy wygląd przebiegu prostokątnego na ekranie oscyloskopu. **Rysunek 3** pokazuje poprawnie skompensowaną sondę. **Rysunek 4** za małą pojemność trymera, a **rysunek 5** – za dużą. Ze względu na to, że pojemność dłoni może wpływać na kompensację, regulację powinno się przeprowadzić po zmontowaniu płytki w obudowie przez otwory w niej. Do regulacji należy użyć plastikowego wkrętaka. Ten sam zabieg należy przeprowadzić dla drugiego wejścia.



Rys. 2





Na płytce, pokazanej na rysunku 6 (oraz na wcześniejszym rysunku 2) przewidziano otwory umożliwiające zamontowanie blaszek ekranujących. Jednak ze względu na montaż SMD ekranowanie takie nie jest bezwzględnie konieczne.

Gdy uruchomienie przebiegu prawidłowo i gdy sonda pracuje prawidłowo, zaleca się pokrycie jej lakierem izolacyjnym.

Płytkę pasuje do obudowy KM-80, w której należy wyciąć otwory pod złącza, LED, przełącznik. **Obudowa sondy powinna być ekranowana.** Wystarczające ekranowanie można zrealizować grafitem w sprayu lub ostatecznie samoprzylepną folią aluminiową. Otwór montażowy w pobliżu złącza BNC jest połączony z masą, dlatego należy zadbać, aby grafit czy taśma aluminiowa znalazła się na kołkach montażowych w obudowie. Obwód ekranu musi być połączony z masą, w przeciwnym wypadku ekranowanie nie będzie skuteczne.

Działanie sondy sprawdzono z kilkoma sygnałami. **Rysunek 7** przedstawia sygnał prostokątny 1MHz, tłumienie sondy ustawione było na 1:10. **Rysunek 8** pokazuje przebieg 2,5MHz. **Rysunek 9** przedstawia sygnał sinusoidalny 15MHz. **Rysunek 10** – prostokąt 10MHz. Niebieski przebieg pochodzi z generatora, fioletowy na wyjściu sondy. Ze względu na bardzo słabą jakość sygnału prostokątnego z gene-

Wykaz elementów

Rezystory 1206:

Z1	0Ω
R18,R19	1kΩ 1%
R4	1,8kΩ
R7,R13	4,7kΩ 1%
R12	10Ω 1%
R1,R2	10kΩ
R14	240Ω 1%
R8	330kΩ 1%
R15,R16	470kΩ 1%
R5,R6,R10,R11	470kΩ 1%
R17	110Ω 1%
R20	51Ω

Potencjometry mont. wielobrotowe:

P1	20kΩ typ 3266W
P2	20Ω typ 3266W

Kondensatory 1206:

C7,C8,C13,C14	100n
C5,C11	330p

Kondensatory przewlekane:

C1	100uF
C2	10uF
C3,C4,C9,C10	4,7pF/400V
C6,C12	120p trymer 2.25pF
U2	AD830JRZ S008
U3	AD844 S008 (opcjonalnie AD8021, 8014)
U1	TL072 S08
D1	SM4007
D2,D4	5V6 MINIMEL (opcjonalnie 3,3V)
D3	Dioda LED zielona
T3	BC857 SOT-23T
J1	.NS25-G2
J4	gniazdo BNC kątowe do druku
J2,J3	gniazdo BNC
S1	przełącznik SW-DPDT

Płytkę drukowaną jest dostępna w Sklepie AVT jako AVT3241

ratora, zbadanie z jego pomocą wyglądu przebiegów prostokątnych ponad 2,5MHz mija się z celem, co widać na ostatnim oscylogramie. Potrzebny byłby lepszej jakości generator przebiegu prostokątnego.

Uwaga1!

Trzeba pamiętać, że punktem odniesienia jest masa sondy (np. obudowa złącza BNC), a nie masa zasilacza!

Uwaga2!

W przypadku trudności z zakupem U3 można zastosować inny wzmacniacz, np. AD8021 lub AD8014, pamiętając o zmniejszeniu napięcia zasilającego do 24 dla AD8021 lub 12V dla AD8014.

Zmieniając napięcie zasilające na 12V, należy zmodyfikować także układ sygnalizujący obecność zasilania (zmienić diody Zenera na 3,3V).

SaS

sas@elportal.pl

