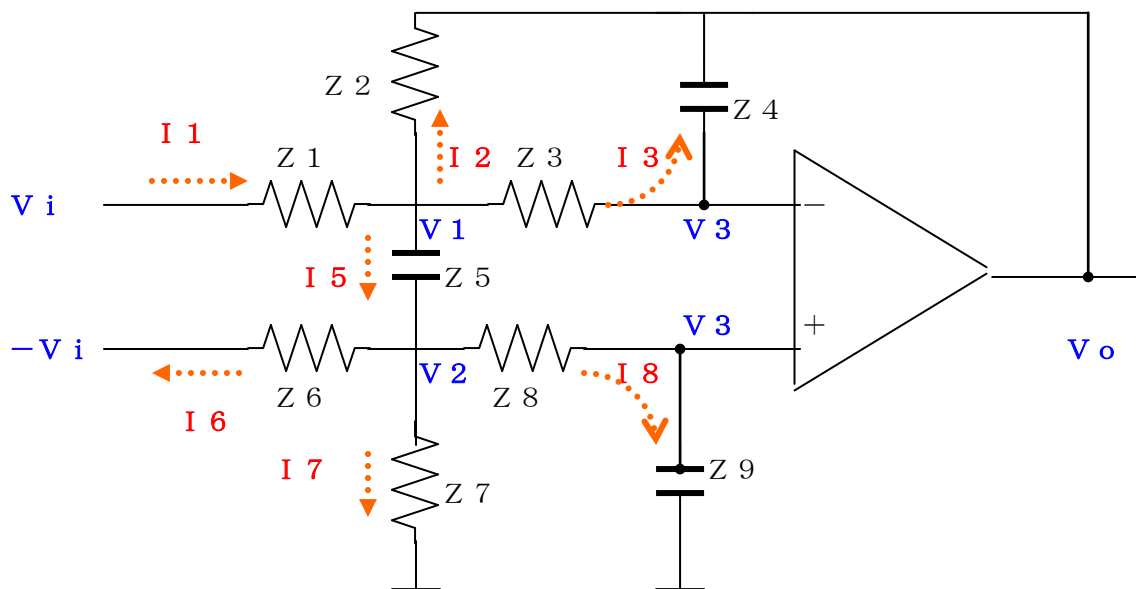


第13章 MATLABの応用

その一 部品の接触不良シミュレーション

13.1 多重帰還型2次LPF（出力反転型）



13.1.1 伝達関数G(S)

2次のLPFの具体的回路の電圧伝達関数をもとめてみよう。

少し面倒だが、伝達関数 $G(S) = V_o / V_i$ を計算する。
各節点での方程式をたてると

／／

$$\begin{aligned} V_i &= V_1 + Z_1 * I_1 & V_1 &= V_o + I_2 * Z_2 & V_1 &= V_3 + I_3 * Z_3 \\ V_3 &= V_o + I_3 * Z_4 & V_1 &= V_2 + I_5 * Z_5 & V_2 + V_i &= I_6 * Z_6 \\ V_2 &= I_7 * Z_7 & V_2 &= V_3 + I_8 * Z_8 & V_3 &= I_8 * Z_9 \\ I_1 &= I_2 + I_3 + I_5 & I_5 &= I_6 + I_7 + I_8 \end{aligned}$$

／／ V2, V3の消去

$$\begin{aligned} V_i &= V_1 + Z_1 * I_1 & V_1 &= V_o + I_2 * Z_2 & V_1 &= I_8 * Z_9 + I_3 * Z_3 \\ V_1 &= V_o + I_3 * (Z_3 + Z_4) & V_1 &= I_5 * Z_5 + I_7 * Z_7 \\ I_7 * Z_7 + V_i &= I_6 * Z_6 & I_7 &= I_8 * A_1 \end{aligned}$$

$$I1=I2+I3+I5 \quad I5=I6+I7+I8$$

$$A1=(Z8+Z9)/Z7$$

// $V1, I1, I2, I5, I7$ の消去

$$Vi=I8 * Z9 + I3 * Z3 + Z1 * (I3 * (A2+1) + I6 + I8 * (A1+1))$$

$$I8 * Z9 + I3 * Z3 = Vo + I3 * A2 * Z2$$

$$I8 * Z9 + I3 * Z3 = I6 * Z5 + I8 * ((A1+1) * Z5 + A1 * Z7)$$

$$I8 * A1 * Z7 + Vi = I6 * Z6$$

$$A2=(Z3+Z4)/Z2 \quad A1=(Z8+Z9)/Z7$$

// Ax 追加による式の整理

$$Vi=I3 * A3 + I6 * Z1 + I8 * A4$$

$$I8 * Z9 = Vo + I3 * Z4$$

$$I3 * Z3 = I6 * Z5 + I8 * A5$$

$$I8 * A1 * Z7 + Vi = I6 * Z6$$

$$A1=(Z8+Z9)/Z7$$

$$A2=(Z3+Z4)/Z2$$

$$A3=Z3+Z1 * (A2+1)$$

$$A4=Z9+Z1 * (A1+1)$$

$$A5=Z8+Z5 * (A1+1)$$

// $I3$ の消去&式の整理

$$Vi=I6 * A6 + I8 * A7$$

$$-Vo=I6 * Z4 * Z5/Z3 + I8 * A8$$

$$I8 * A1 * Z7 + Vi = I6 * Z6$$

$$A1=(Z8+Z9)/Z7$$

$$A2=(Z3+Z4)/Z2$$

$$A3=Z3+Z1 * (A2+1)$$

$$A4=Z9+Z1 * (A1+1)$$

$$A5=Z8+Z5 * (A1+1)$$

$$A6=Z1 + A3 * Z5/Z3$$

$$A7=A4 + A3 * A5/Z3$$

$$A8=A5 * Z4 / Z3 - Z9$$

// I6, I8の消去&式の整理

$$-V_o / V_i = ((Z6 - A6) * A11 / (Z6 * A10) + A9 / Z6$$

$$A1 = (Z8 + Z9) / Z7$$

$$A2 = (Z3 + Z4) / Z2$$

$$A3 = Z3 + Z1 * A2 + Z1$$

$$A4 = Z9 + Z1 * A1 + Z1$$

$$A5 = Z8 + Z5 * A1 + Z5$$

$$A6 = Z1 + A3 * Z5 / Z3$$

$$A7 = A4 + A3 * A5 / Z3$$

$$A8 = A5 * Z4 / Z3 - Z9$$

$$A9 = Z4 * Z5 / Z3$$

$$A10 = A1 * A6 * Z7 / Z6 + A7$$

$$A11 = A1 * A9 * Z7 / Z6 + A8$$

//

$$-V_o / V_i = A12$$

$$A1 = (Z8 + Z9) / Z7$$

$$A2 = (Z3 + Z4) / Z2$$

$$A3 = Z3 + Z1 * A2 + Z1$$

$$A4 = Z9 + Z1 * A1 + Z1$$

$$A5 = Z8 + Z5 * A1 + Z5$$

$$A6 = Z1 + A3 * Z5 / Z3$$

$$A7 = A4 + A3 * A5 / Z3$$

$$A8 = A5 * Z4 / Z3 - Z9$$

$$A9 = Z4 * Z5 / Z3$$

$$A10 = A1 * A6 * Z7 / Z6 + A7$$

$$A11 = A1 * A9 * Z7 / Z6 + A8$$

$$A12 = ((Z6 - A6) * A11 / (Z6 * A10) + A9 / Z6$$

部品接触不良シミュレーション・プログラム lpftest3

Z1からZ9、およびA1からA12は、sの多項式で表現する。

$$H(s) = \frac{B(s)}{A(s)} = \frac{b(1)s^n + b(2)s^{(n-1)} + \cdots + b(n+1)}{s^n + a(2)s^{(n-1)} + \cdots + a(n+1)}$$

たとえば、Z1は抵抗22kオームとすると、

$$R1 = 22,000;$$

$$Hz1(s) = R/1$$

$$bz1 = [R1]; \quad az1 = [1];$$

$$kz1 = \{bz1; az1\};$$

たとえば、Z5はコンデンサー2200pFとすると、

$$C5 = 2200 \times 10^{(-12)};$$

$$Hz5(s) = 1/C5 \cdot s$$

$$bz5 = [1]; \quad az5 = [C5 \ 0];$$

$$kz5 = \{bz5; az5\};$$

Z1とZ5の直列合成をZtとすると

$$Zt = Z1 + Z5$$

$$Hzt(s) = (R1 \cdot s + 1) / C5 \cdot s$$

$$bzt = [R1 \ 1]; \quad azt = [C5 \ 0];$$

$$kzt = \text{addba}(kz1, kz5);$$

addbaは、s多項式の加算; mulbaはs多項式の乗算;

divbaはs多項式の除算を表す。

```
% lpf connection disconnection test
format short g
clear
f=logspace(1, 7, 100);
w=2*pi*f;
%constant start
r1=22000;r2=22000;r3=22000;
```

```

c4=390*10^-12;c9=390*10^-12;c5=2200*10^-12;
r6=22000;r7=22000;r8=22000;
%constant end
dd(1,1:9)=[1000 1 1 1 1 1 1 1 1];
dd(2,1:9)=[1 1000 1 1 1 1 1 1 1];
dd(3,1:9)=[1 1 1000 1 1 1 1 1 1];
dd(4,1:9)=[1 1 1 0.001 1 1 1 1 1];
dd(5,1:9)=[1 1 1 1 0.001 1 1 1 1];
dd(6,1:9)=[1 1 1 1 1 1000 1 1 1];
dd(7,1:9)=[1 1 1 1 1 1 1000 1 1];
dd(8,1:9)=[1 1 1 1 1 1 1 1000 1];
dd(9,1:9)=[1 1 1 1 1 1 1 1 0.001];
dd(10,1:9)=[1 1 1 1 1 1 1 1 1];

figure(1)
clf;
for jt=1:10
    cc=dd(jt,1:9);
    r10=r1*cc(1);r20=r2*cc(2);r30=r3*cc(3);
    c40=c4*cc(4);c50=c5*cc(5);c90=c9*cc(9);
    r60=r6*cc(6);r70=r7*cc(7);r80=r8*cc(8);

    kz1=setr(r10);kz2=setr(r20);kz3=setr(r30);
    kz4=setc(c40);kz5=setc(c50);kz9=setc(c90);
    kz6=setr(r60);kz7=setr(r70);kz8=setr(r80);

    kt1=addba(kz8,kz9);ka1=divba(kt1,kz7);
    kt1=addba(kz3,kz4);ka2=divba(kt1,kz2);
    kt1=mulba(kz1,ka2);kt1=addba(kz3,kt1);
    ka3=addba(kt1,kz1);
    kt1=mulba(kz1,ka1);kt1=addba(kz9,kt1);
    ka4=addba(kt1,kz1);
    kt1=mulba(kz5,ka1);kt1=addba(kz8,kt1);
    ka5=addba(kt1,kz5);
    kt1=mulba(ka3,kz5);kt1=divba(kt1,kz3);
    ka6=addba(kz1,kt1);

```

```

kt1=mulba(ka3,ka5);kt1=divba(kt1,kz3);
ka7=addba(ka4,kt1);
kt1=mulba(ka5,kz4);kt1=divba(kt1,kz3);
ka8=subba(kt1,kz9);
kt1=mulba(kz4,kz5);ka9=divba(kt1,kz3);
kt2=divba(kz7,kz6);kt2=mulba(ka1,kt2);
kt1=mulba(kt2,ka6);ka10=addba(kt1,ka7);
kt1=mulba(kt2,ka9);ka11=addba(kt1,ka8);
kt1=subba(kz6,ka6);kt2=mulba(kz6,ka10);
kt1=mulba(kt1,ka11);kt1=divba(kt1,kt2);
kt3=divba(ka9,kz6);
ka12=addba(kt1,kt3);
h1=freqs(-ka12{1},ka12{2},w);
aa1=abs(h1);
aa1db=20*log10(aa1);

ph1=180*angle(h1)/pi;

%subplot(2,1,1);
switch jt
case 1
    bol=2;clo=[0.7 0 0];x=12;y=-9;tstr=' ¥uparrow R1';
case 2
    bol=2;clo=[1 0 0];x=1000;y=24;tstr=' ¥Leftarrow R2';
case 3
    bol=2;clo=[1 0 0];x=1500;y=-12;tstr=' R3 ¥rightarrow';
case 4
    bol=2;clo=[0 0 1];x=12000;y=8;tstr=' ¥Leftarrow C4';
case 9
    bol=2;clo=[0 0 0.8];x=150000;y=-20;tstr=' ¥Leftarrow C9';
case 5
    bol=2;clo=[0 0 0.7];x=110000;y=-30;tstr=' ¥Leftarrow C5';
case 6
    bol=2;clo=[0 1 0];x=800;y=3;tstr=' R6 ¥rightarrow';
case 7

```

```

        bol=2;clo=[0 1 0];x=100;y=12;tstr='¥downarrow R7';
    case 8
        bol=2;clo=[0 0.6 0];x=800;y=-2.5;tstr='R8 ¥uparrow';
    case 10
        bol=3;clo=[0 0 0];x=5000;y=-40;tstr='Normal ¥rightarrow';
    end
    semilogx(f,aa1db,'-r');hold on;
    line(f,aa1db,'linewidth',bol,'Color',clo);hold on;
    axis([f(1) f(end) -50 30]);
    text(x,y,tstr,'FontSize',14);
    grid;
    hold on;

end
grid;
%
function kr=setr(r)
rb=[r];ra=[1];kr={rb ; ra};
% setr end
%
function kc=setc(c)
cb=[1];ca=[c 0];kc={cb ; ca};
% setc end
%
function kl=setl(l)
lb=[l 0];la=[1];kl={lb ; la};
% setl end
%
function k3=addba(k1,k2)
b1=k1{1};a1=k1{2};b2=k2{1};a2=k2{2};
b3=conv(b1,a2);
a3=conv(a1,a2);
b4=conv(b2,a1);
n3=size(b3,2);
n4=size(b4,2);

```

```

if n3>n4
    b4=[zeros([1 (n3-n4)]), b4];
elseif n3<n4
    b3=[zeros([1 (n4-n3)]), b3];
end
k4={b3+b4 ; a3};
k3=zpcan(k4, 0.0001);
% addba end
%
function k3=mulba(k1, k2)
b3=conv(k1{1}, k2{1});
a3=conv(k1{2}, k2{2});
k3={b3 ; a3};
%k4={b3 ; a3};
%k3=zpcan(k4, 0.0001);
% mulba end
%
function k3=divba(k1, k2)
k4{1}=k2{2}; k4{2}=k2{1};
k3=mulba(k1, k4);
% divba end
%
function k3=zpcan(k1, errmax)
num=zsuprow(k1{1}); den=zsuprow(k1{2});
if isempty(den)
    error('den of ba is [] in zpcan')
end
if isempty(num)
    num=[0];
end
z=roots(num);
p=roots(den);
k=num(1)/den(1);
if (isempty(z)) | (isempty(p))
    kd=den(1);
    num=num/kd;

```



```

    den=den/kd;
    k3={num ; den};
    return
end
zr=[];zd=[];pd=[];
nz=size(z,1);np=size(p,1);
for it=1:nz;
    sw=0;
    for jt=1:np;
        err1=abs(z(it))+abs(p(jt));
        err=abs((z(it)-p(jt)));
        if (err1==0) | ((err/err1)<errmax)
            sw=1;
            zd=[zd;z(it)];
            pd=[pd;p(jt)];
            p(jt)=[];
            break
        end
    end
end
if sw==1
    if isempty(p)
        np=0;
    else
        np=size(p,1);
    end
else
    zr=[zr;z(it)] ;
end
end
num=k*poly(zr);
den=poly(p);
k3={num ; den};
% zpcan end
%
```

