

第10問

交流電力系統において安定に伝送できる電力には上限があることを、図1に示すような簡易な交流回路を用いて考察してみる。複素ベクトル表示をした場合に、 \dot{U}_s と \dot{U}_r はそれぞれ送電端と受電端の電圧ベクトル、 \dot{i} は電流ベクトルを、また、 X は送電線路のリアクタンスを表す。なお、本問では \dot{U}_s 、 \dot{U}_r 、 \dot{i} のように上にドットが付いている変数は複素数を、上にドットが付いていない変数はその絶対値を、つまり $U_s = |\dot{U}_s|$ 、 $U_r = |\dot{U}_r|$ 、 $I = |\dot{i}|$ 、また、 j は虚数単位を表すものとする。また、通常行われている U_s と U_r を一定とする定電圧送電の場合について考えることにする。以下の問に答えよ。

- (1) 電流ベクトル \dot{i} を \dot{U}_s 、 \dot{U}_r 、 X を用いて表せ。
- (2) \dot{U}_s は \dot{U}_r に対して位相差 θ ($0 \leq \theta \leq \pi$) だけ進んでいるとする。また、受電端における電力ベクトル \dot{W}_r を複素表示で次式のように定義する。

$$\dot{W}_r = P_r + jQ_r$$

ここで、 P_r と Q_r はそれぞれ受電端における有効電力と無効電力である。一方、 \dot{W}_r は受電端の電圧ベクトル \dot{U}_r と電流ベクトル \dot{i} を用いると、次式のように定義できる。

$$\dot{W}_r = \dot{U}_r \dot{i}^*$$

\dot{i}^* は \dot{i} の複素共役ベクトルを表す($\dot{i} \dot{i}^* = I^2$)。 P_r および Q_r を U_s 、 U_r 、 X 、 θ の関数として示せ。 P_r については、 θ の関数として図示せよ。

- (3) (2)の結果に基づき、受電端に供給可能な最大の有効電力を求めよ。
- (4) 送電端には発電機が、また受電端には電動機がつながっているとし、同一の角周波数で回転していると仮定して、(2)で定義された位相差 θ がもつ物理的な意味を考察せよ。
- (5) (2)で求めた特性曲線上で、 θ が何らかの原因により微少量だけ変動した場合について、電力系統の状態変化をその特性図を用いて考察し、電力系統が安定に運転できる θ の範囲を求めよ。また、この θ の値が安定に運転できる範囲を逸脱した場合に、発電機や電動機がどのような運転状態になるかについて考察せよ。

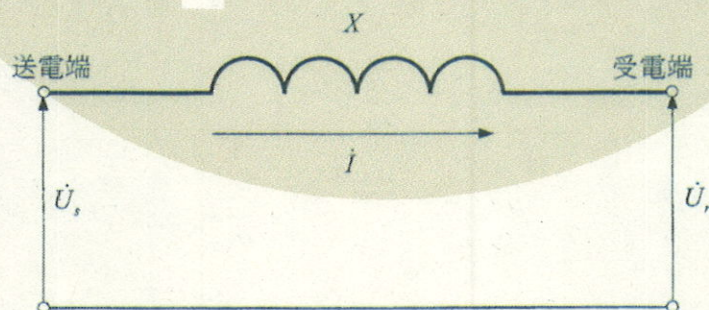


図1

Problem 10

Let us consider the fact that there exists an upper limit in the stable electric power transmission in an AC (alternating current) power system by using the simple AC circuit shown in Fig. 1. By the complex notation, \dot{U}_s and \dot{U}_r represent voltage vectors at the sending end and the receiving end of the power line, respectively, \dot{I} represents a current vector, and X is the reactance of the line. Here, variables with the dot “ $\dot{}$ ” such as \dot{U}_s , \dot{U}_r and \dot{I} represent complex numbers and those without a dot represent their absolute values, that is, $U_s = |\dot{U}_s|$, $U_r = |\dot{U}_r|$ and $I = |\dot{I}|$. The imaginary unit is denoted by j . Let us assume the constant-voltage transmission scheme keeping U_s and U_r constant, which is employed in the usual operation. Answer the following questions.

- (1) Express the current vector \dot{I} by using \dot{U}_s , \dot{U}_r and X .
- (2) Let us assume that \dot{U}_s leads \dot{U}_r by a phase difference of θ ($0 \leq \theta \leq \pi$). The power vector at the receiving end, \dot{W}_r , is given by the complex notation:

$$\dot{W}_r = P_r + j Q_r,$$

where P_r and Q_r are the active and reactive powers at the receiving end, respectively. Using the voltage vector at the receiving end \dot{U}_r and the current vector \dot{I} , the vector \dot{W}_r is also given by

$$\dot{W}_r = \dot{U}_r \dot{I}^*,$$

where \dot{I}^* is the complex conjugate of \dot{I} ($\dot{I} \dot{I}^* = I^2$). Express P_r and Q_r as functions of U_s , U_r , X , and θ . Draw a graph of P_r as a function of θ .

- (3) Based on the answer of (2), find the maximum active power that can be supplied to the receiving end.
- (4) Let us assume that a power generator and an electric motor are connected to the sending end and the receiving end, respectively, and that both machines are rotating at a same angular frequency. Explain the physical meaning of the phase difference θ defined in (2).
- (5) In the case where θ slightly fluctuates on the characteristic curve obtained in (2) due to some perturbation, explain how the state of the power system responds to such fluctuation using the characteristic curve. Then, find the range of θ where the power system is operated in the stable state. Furthermore, explain what happens to the generator and the motor, when θ departs from the range of stable operation.

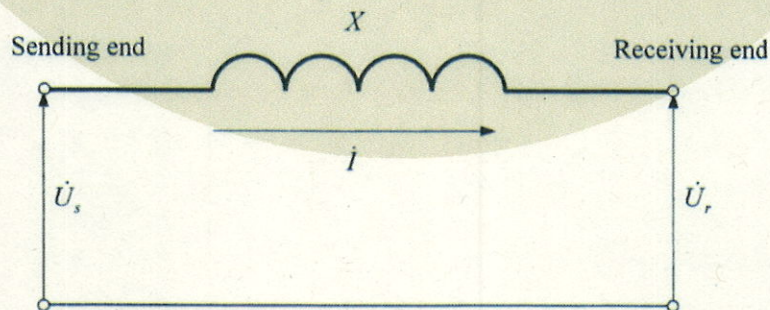


Fig. 1